



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TL 141584**

# **PENGARUH PENAMBAHAN NANOSELULOSA DARI SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA KOMPOSIT POLIURETAN UNTUK INSULASI TERMAL DAN ABSORBSI SUARA PADA INTERIOR MOBIL**

**SAMUEL BUDI UTOMO**  
NRP. 2713 100 091

Dosen Pembimbing :  
Ir. Moh. Farid, DEA  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017





**TUGAS AKHIR – TL 141584**

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOSELULOSA DARI  
SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA  
KOMPOSIT POLIURETAN UNTUK INSULASI TERMAL  
DAN ABSORBSI SUARA PADA INTERIOR MOBIL**

**SAMUEL BUDI UTOMO  
NRP 2713 100 091**

Dosen Pembimbing  
Ir. Moh. Farid, DEA  
Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL 141584**

**EFFECT OF NANOCELLULOSE ADDITION OF OIL  
PALM EMPTY FRUIT BUNCHES FIBRE ON  
POLYURETHANE COMPOSITE FOR THERMAL  
INSULATION AND SOUND ABSORBER IN CAR  
INTERIOR**

**SAMUEL BUDI UTOMO  
NRP 2713 100 091**

Dosen Pembimbing  
Ir. Moh. Farid, DEA  
Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

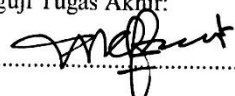
*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*


**PENGARUH PENAMBAHAN NANOSELULOSA DARI  
SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA  
KOMPOSIT POLIURETAN UNTUK INSULASI TERMAL  
DAN ABSORBSI SUARA PADA INTERIOR MOBIL**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**SAMUEL BUDI UTOMO**  
Nrp. 2713 100 091

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Moh. Farid, DEA .....  ..... (Pembimbing I)

2. Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T. ....  ..... (Pembimbing II)



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



# **PENGARUH PENAMBAHAN NANOSELULOSA DARI SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA KOMPOSIT POLIURETAN UNTUK INSULASI TERMAL DAN ABSORBSI SUARA PADA INTERIOR MOBIL**

**Nama Mahasiswa** : Samuel Budi Utomo  
**NRP** : 2713 100 091  
**Departemen** : Teknik Material  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Moh Farid, DEA  
Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

Komposit berpenguat nanocellulose dari serat tandan kosong kelapa sawit merupakan inovasi sebagai penyerap suara dan insulasi termal yang ramah lingkungan yang dapat diaplikasikan pada door panel mobil. Maka dari itu dibutuhkan kemampuan absorpsi suara yang baik serta koefisien konduktivitas termal yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan nanoselulosa sebagai filler terhadap stabilitas termal, koefisien absorpsi suara, dan konduktivitas termal. Fraksi massa dari nanoselulosa yang digunakan adalah 5,10, dan 15 %wt. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah TEM, SEM, absorpsi suara, konduktivitas termal, TGA, dan densitas. Penambahan nanoselulosa dari STKKS cenderung menaikkan stabilitas termal, absorpsi suara, dan konduktivitas termalnya. Komposit yang mempunyai stabilitas termal dan nilai absorpsi suara tertinggi adalah komposit dengan 15% nanoselulosa yaitu 40.998% weight loss dan  $\alpha$  0.343167, sedangkan komposit dengan 5% nanoselulosa mempunyai nilai konduktivitas termal terendah yaitu 0.076478.

**Kata kunci:** Material Pengabsorpsi Suara, Insulasi Termal, Nanocellulose, Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit, Polyurethane

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

# **EFFECT OF NANOCELLULOSE ADDITION OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCHES FIBRE ON POLYURETHANE COMPOSITE FOR THERMAL INSULATION AND SOUND ABSORBER IN CAR INTERIOR.**

**Name** : Samuel Budi Utomo  
**NRP** : 2713 100 091  
**Departement** : Teknik Material  
**Advisor** : Ir. Moh Farid, DEA  
Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

A nanocellulose reinforced composite from an oil palm empty fruit bunches fibre is an innovation as well as an environmentally sound absorber and thermal insulation material that can be applied to car door panels. Therefore the material must have a good sound absorber value and low thermal conductivity. This study aims to determine the effect of adding nanocellulose as a filler to thermal stability, sound absorption coefficient, and thermal conductivity. The mass fraction of nanocellulose used was 5, 10, and 15 wt%. Tests conducted in this study were TEM, SEM, sound absorption, thermal conductivity, TGA, and density. The addition of nanocellulose from STKKS tends to increase thermal stability, sound absorption, and thermal conductivity. The composites having the highest thermal stability and highest sound absorption value are composites with 15% nanocellulose ie 40.998% weight loss and  $\alpha$  0.343167, while the composite with 5% nanocellulose has the lowest thermal conductivity value of 0.076478.

**Keywords:** Sound absorber material, Thermal Insulation, Nanocellulose, Oil Palm Empty Fruit Bunches Fibre, Polyurethane

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kasih karunia yang telah diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun Laporan Tugas Akhir dengan judul : **“APLIKASI KOMPOSIT POLIURETAN BERPENGUAT NANOSELULOSA DARI SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK INSULASI TERMAL DAN ABSORBSI SUARA PADA INTERIOR MOBIL”**. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penyusun mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karuniaNya dari awal perkuliahan hingga akhir sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Orang tua, adik, dan keluarga atas segala doa, motivasi, bantuan materiil, pengertian, dan kasih sayang yang telah diberikan selama ini.
3. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA selaku dosen pembimbing dalam melaksanakan tugas akhir yang telah memberikan ilmu, tenaga, materi dari awal sampai akhir.
4. Bapak Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T. selaku dosen *co*-pembimbing yang senantiasa memberikan masukan, koreksi, membantu dalam diskusi, arahan.
5. Ibu Amaliya Rasyida yang memberikan masukan masukan selama beberapa kali pengujian.
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Ibu Dian Mughni Felicia S.T., M.T., selaku dosen wali yang sangat memperhatikan anaknya.
8. Dosen Tim Penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir.
9. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

10. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.
11. Keluarga HMMT dan MT15 yang selalu membantu selama masa perkuliahan.
12. Keluarga PKKTM 2013 yang selalu ada di sekitar saya.
13. Wiesje Astrid yang senantiasa menyemangati dan memberikan motivasi baik dalam suka dan duka.
14. Axel, Henry, Standley, Laurent, Eldwin, Amel selaku sahabat yang selalu menghibur dan memberikan pencerahan baru.
15. Axel, Henry, Rachmadhani, Sita, Aji, Zulfa, Ateng selaku teman seperjuangan yang selalu memberi masukan satu dengan yang lainnya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
16. Peter, Hana, Adit, Oka, Epi, Yunis, Dida, Afza, Jimmy selaku teman teman yang berjuang bersama untuk menyelesaikan tugas akhir di laboratirium inovatif maupun laboratorium fisika.
17. Kevin, Naim, Teje, Risa, Rifqi, Giri, Rommy selaku teman teman yang menyupport, membuat tambah salty, dan merefresh pikiran dikala sedang penat.

Penulis berharap agar laporan tentang inovasi nanoselulosa dengan kompositnya agar dapat lebih berkembang lagi di Indonesia. Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penulisan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran dan kritik yang bersifat membangun untuk lebih baik lagi. Penulis berharap agar tugas akhir ini bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Material Komposit.....	6
2.2 Nanokomposit .....	8
2.3 Poliuretan.....	9
2.4 Sifat Gelombang Suara.....	13
2.5 Material Akustik.....	15
2.6 Absorbsivitas dan Refleksitas Bunyi.....	19
2.7 Insulasi Termal .....	20
2.8 Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	23
2.9 Komposisi Kimia Serat Kelapa Sawit .....	25
2.10 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Kelapa Sawit.....	26
2.11 Selulosa .....	28
2.12 Nanokristalin Selulosa.....	29
2.13 Alkalisasi .....	30
2.14 Penelitian Terdahulu.....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>34</b>
3.1 Diagram Alir Percobaan .....	34
3.1.1 Diagram Alir Pembuatan Keseluruhan .....	34
3.1.2 Diagram Alir Pembuatan Filler Nanoselulosa .....	35
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian .....	36

3.2.1 Bahan Penelitian .....	36
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	39
3.3 Variabel Penelitian .....	46
3.4 Metode Penelitian.....	47
3.4.1 Persiapan Bahan.....	47
3.4.1.1 Pengolahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	47
3.4.1.2 Pengolahan Matriks .....	48
3.4.1.3 Pembuatan Cetakan .....	48
3.4.1.4 Pembuatan Komposit .....	48
3.4.2 Proses Pengujian .....	49
3.4.2.1 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara .....	49
3.4.2.2 Pengujian SEM.....	49
3.4.2.3 Pengujian TEM .....	51
3.4.2.4 Pengujian Densitas .....	52
3.4.2.5 Pengujian Konduktivitas Termal.....	53
3.4.2.6 Pengujian TGA.....	53
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>55</b>
4.1 Analisa Morfologi .....	55
4.1.1 Hasil Pengujian TEM.....	55
4.1.2 Hasil Pengujian SEM.....	56
4.1.2.1 Hasil Pengujian SEM Serat .....	56
4.1.2.2 Hasil Pengujian SEM Komposit .....	59
4.2 Konduktivitas Termal .....	62
4.3 Absorpsi Suara .....	64
4.4 Pengujian Tga.....	67
4.5 Pengujian Densitas .....	69
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>71</b>
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	72
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xviii</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxi</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>xxxiv</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 penjelasan fiber dan resin (Sanjay K. Mazumdar, 2001).....	6
Gambar 2.2 ikatan uretan dan hasil pembentukan poliuretan.(Raja Naposo Harahap, 2010).....	10
Gambar 2.3 Model gelombang suara (David M. Howard,2009).....	13
Gambar 2.4 Proses perambatan gelombang suara (David M. Howard,2009).....	14
Gambar 2.5 Tipe penyerapan suara (Howard dan Angus, 2009).....	17
Gambar 2.6 Zona Frekuensi Tipe Wideband (Howard dan Angus, 2009).....	18
Gambar 2.7 Serat TKKS dengan perlakuan Perebusan (A) dan Pengukusan (B) (Lya Agustina, 2016) .....	24
Gambar 2. 8 Struktur Kimia Selulosa (Chen, 2014) .....	29
Gambar 2.9 Struktur SEM poliuretan Murni (Jonathan dan Farid, 2016).....	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Keselruhan.....	34
Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan nanoselulosa.....	35
Gambar 3.3 Serat TKKS .....	36
Gambar 3.4 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	36
Gambar 3.5 NaOH.....	37
Gambar 3.6 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	37
Gambar 3.7 PU A dan PU B.....	38
Gambar 3.8 Air Destilasi.....	38
Gambar 3.9 Cetakan Spesimen .....	39
Gambar 3.10 Timbangan Digital.....	39
Gambar 3.11 Penggaris .....	40
Gambar 3.12 Alumunium Foil .....	40
Gambar 3.13 Oven .....	41
Gambar 3.14 Gelas Plastik .....	41
Gambar 3.15 Hot Plate dan Magnetic Stirrer .....	42
Gambar 3.16 Mesin Centrifuge .....	42

Gambar 3.17 Mesin Sieving.....	43
Gambar 3.18 Alat Uji Absorpsi Suara.....	43
Gambar 3.19 Alat SEM.....	44
Gambar 3.20 Alat TEM.....	44
Gambar 3.21 Alat uji konduktivitas termal .....	45
Gambar 3.22 Alat uji densitas .....	45
Gambar 3.23 Alat coating .....	46
Gambar 3.24 Dimensi Spesimen yang Akan Dibuat.....	49
Gambar 3.25 Dimensi Spesimen SEM.....	49
Gambar 3.26 Prinsip Kerja SEM (Jimping Zhou, 2000).....	50
Gambar 3.27 Prinsip Kerja TEM .....	52
Gambar 3.28 Prinsip TGA.....	54
Gambar 4.1 hasil TEM Nanoselulosa.....	55
Gambar 4.2 Hasil SEM TKKS perlakuan pencucian (Muthia, 2017).....	56
Gambar 4.3 Hasil SEM TKKS perlakuan alkalisasi (Rachmadhani,2017) .....	57
Gambar 4.4 Hasil SEM TKKS perlakuan bleaching.....	57
Gambar 4.5 Hasil SEM TKKS perlakuan hidrolisis (Henry, 2017) .....	58
Gambar 4.6 Analisa SEM komposit dengan fraksi massa (a) 5%, (b) 10%, (c) 15% .....	61
Gambar 4.7 Hasil pengujian insulasi termal.....	62
Gambar 4.8 Grafik koefisien absorpsi suara .....	65
Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Tga .....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat-Sifat <i>Polyurethane</i> (Kricheldorf, 2005).....	12
Tabel 2. 2 Noise Reduction Coefficient (NRC) dari Beberapa Produk Foam (Lee, 2009).....	12
Tabel 2.3 Koefisien Penyerapan Bunyi dari Material Akustik (Doelle, Leslie L, 1993) .....	16
Tabel 2.4 Data nilai konduktivitas (Bob Foster, 2004) .....	22
Tabel 2.5 Data Hasil Pengamatan. (Lya Agustina, 2016) .....	24
Tabel 2.6 Komposisi Serat Kelapa Sawit (H.P.S. Abdul Khalil dkk,2012).....	26
Tabel 2.7 Sifat Fisik Serat Kelapa Sawit (H.P.S. Abdul Khalil dkk,2012).....	27
Tabel 2.8 Sifat Mekanik Serat Kelapa Sawit (H.P.S. Abdul Khalil dkk,2012).....	28
Tabel 4.1 Data diameter serat TKKS .....	58
Tabel 4.2 Data nilai konduktivitas termal .....	63
Tabel 4.3 Data $\alpha$ dari Komposit Poliuretan.....	66
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Densitas .....	69

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Bising Dalam kesehatan kerja, bising diartikan sebagai suara yang dapat menurunkan pendengaran baik secara kuantitatif (peningkatan ambang pendengaran) maupun secara kualitatif (penyempitan spektrum pendengaran), berkaitan dengan faktor intensitas, frekuensi, durasi dan pola waktu. Kebisingan didefinisikan sebagai suara yang tak dikehendaki, misalnya yang merintangi terdengarnya suara-suara, musik dsb, atau yang menyebabkan rasa sakit atau yang menghalangi gaya hidup. (JIS Z 8106 -IEC60050-801, kosa kata elektro-teknik Internasional Bab 801: Akustikal dan elektroakustik). Jadi dapat disimpulkan bahwa kebisingan adalah bunyi atau suara yang tidak dikehendaki dan dapat mengganggu kesehatan, kenyamanan serta dapat menimbulkan ketulian.

Kita ketahui bahwa kebisingan juga merupakan polusi yang berpengaruh kurang baik terhadap lingkungan, maka diperlukan cara-cara bagaimana menganggulangnya dan mengendalikan kebisingan tersebut agar tidak mengganggu lagi. Pengendalian kebisingan mutlak diperlukan untuk memperkecil pengaruhnya pada kesehatan kita. Usaha pengendalian kebisingan harus dimulai dengan melihat komponen kebisingan, yaitu Sumber radiasi, Jalur tempuh radiasi, serta Penerima (telinga). Antisipasi kebisingan dapat dilakukan dengan intervensi terhadap ketiga komponen ini. Secara garis besar, ada dua jenis pengendalian kebisingan, yaitu pengendalian bising aktif (*active noise control*) dan pengendalian bising pasif (*passive noise control*). Pada *Active Noise Control* dapat dilakukan dengan Kontrol pada Sumber. Pengontrolan kebisingan pada sumber dapat dilakukan dengan modifikasi sumber, yaitu penggantian komponen atau mendisain ulang alat atau mesin supaya kebisingan yang



ditimbulkan bisa dikurangi. Program *maintenance* yang baik supaya mesin tetap terpelihara, dan penggantian proses. Misalnya mengurangi faktor gesekan dan kebocoran suara, memperkecil dan mengisolasi elemen getar, melengkapi peredam pada mesin, serta pemeliharaan rutin terhadap mesin. Tetapi cara ini memerlukan penelitian intensif dan umumnya juga butuh biaya yang sangat tinggi (Goembira, Fadjar, Vera S Bachtiar, 2003).

Pada saat ini metal dan logam logam lainnya sudah tidak banyak perkembangannya. Pada dasarnya semakin modern perkembangan zaman, dibutuhkan teknologi yang semakin tinggi maka diperlukan juga perkembangan dari segi material yang memenuhi perkembangan jaman tersebut. Teknologi hijau atau teknologi ramah lingkungan semakin serius dikembangkan oleh negara-negara di dunia saat ini, menjadikan suatu tantangan yang terus diteliti oleh para pakar untuk dapat mendukung kemajuan teknologi ini. Salah satunya adalah teknologi komposit dengan material serat alam (Natural Fiber). Tuntutan teknologi ini disesuaikan juga dengan keadaan alam yang mendukung untuk pemanfaatannya secara langsung. Dari hal tersebut material komposit dapat memenuhi permintaan perkembangan teknologi tersebut. Inti dari komposit adalah matriks dan fibernya. Kali ini hal penting yang dibahas adalah fiber yang diambil dari bahan alami atau biasa disebut natural fiber. Natural fiber yang akan diteliti adalah serat dari Tandon Kosong Kelapa Sawit. Sekarang Malaysia merupakan penghasil kelapa sawit terbanyak, banyak lahan luas di Malaysia yang dipakai untuk menanam kelapa sawit. Kelapa sawit tahan hidup sekitar 25-30 tahun dan sangat cocok untuk menghasilkan keuntungan. Kelapa sawit dipilih karena kebanyakan masyarakat hanya memakai kelapa sawit untuk diperoleh minyaknya saja, namun tidak digunakan bagian kelapa sawit yang lainnya dan dianggap sebagai limbah. Maka



dari itu diambil bahan penelitian dari limbah yang tidak dipakai. Lalu untuk matriks yang dipakai adalah polymer karena polymer mempunyai karakteristik yang dapat mendukung pengikatan pada fiber dari tandon kosong kelapa sawit.

Berdasarkan penelitian penelitian sebelumnya, serat dari tandan kosong kelapa sawit memiliki sifat absorpsi suara yang baik dan penelitian tentang ini belum terlalu sering dilakukan apabila dibandingkan dengan penelitian dengan serat alami yang lainnya. Pada penelitian ini dilakukan sintesa komposit Poliuretan dengan penguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit. Pada penelitian ini, komposit akan digunakan sebagai pengabsorpsi suara pada interior mobil. Sistem audio pada mobil dibutuhkan teknologi dengan kualitas yang baik, namun harga yang rendah. Serat nanoselulosa yang didapat dari tandan kosong kelapa sawit ini cocok untuk dipakai sebagai absorpsi suara karena harga yang relatif murah namun memberikan kualitas yang baik. Selain digunakan sebagai pengabsorpsi suara, komposit ini juga akan digunakan sebagai insulasi termal. Umumnya penghasil suara dan panas yang sangat sering mengganggu pengemudi berasal dari mesin. Maka dari itu, material komposit ini diinovasikan agar dapat mengurangi panas dan suara yang dapat mengganggu kenyamanan pengemudi di dalam mobil.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dibahas, rumusan masalah pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh fraksi massa nanoselulosa terhadap stabilitas termal pada komposit Polyuretan berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit?
2. Bagaimana pengaruh fraksi massa nanoselulosa terhadap morfologi dan koefisien absorpsi suara



pada komposit Polyuretan berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit?

3. Bagaimana pengaruh fraksi massa nanoselulosa terhadap konduktivitas termal pada komposit Polyuretan berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah digunakan untuk mengasumsikan konstanta-konstanta yang pengaruhnya sangat kecil pada penelitian sehingga dapat diabaikan. Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengotor pada saat proses sintesis nanoselulosa dan pengujian diabaikan.
2. Kadar uap air dan gas pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
3. Distribusi serat pada komposit dianggap merata.
4. Nilai densitas air dianggap  $1 \text{ gr/cm}^3$ .

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh fraksi massa nanoselulosa terhadap stabilitas termal pada komposit Polyuretan berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit.
2. Menganalisa pengaruh fraksi massa nanoselulosa terhadap morfologi dan koefisien absorpsi suara pada komposit Polyuretan berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit.
3. Menganalisa pengaruh fraksi massa nanoselulosa terhadap konduktivitas termal pada komposit polyuretan berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit.





### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

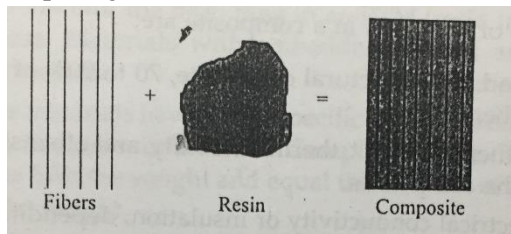
1. Memberikan inovasi untuk interior otomotif dalam hal insulasi suara dan insulasi termal.
2. Memberikan alternative bahan yang lebih ekonomis.
3. Memanfaatkan limbah sebagai bahan inovasi material yang baru.
4. Memberikan refrensi untuk penelitian lebih lanjut.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Material Komposit

Komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik yang dengan struktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik (sulistijono,2012).

Material komposit dibuat dengan mengkombinasikan dua atau lebih material menjadi suatu kombinasi sifat mekanik yang unik. Kedua materialnya tetap menjadi wujudnya masing masing namun dapat saling melengkapi dan membentuk sifat mekanik yang lebih baik dari material material penyusunnya. Konsep umum dari komposit itu sendiri adalah mengandung material matriks. Komposit material itu terbentuk dari matriks dalam bentuk resin yang diperkuat oleh fiber, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 penjelasan fiber dan resin (Sanjay K. Mazumdar, 2001)

Bahan penguatnya dapat berbentuk fiber, partikulat, ataupun *whiskers*, dan matriksnya dapat berupa metal, polymer, dan keramik. Fibernya sendiri dapat berukuran



panjang ataupun pendek. Komposit dengan matriks polimer sangat umum dan sering digunakan dalam berbagai industry.

Untuk mengetahui sifat komposit dengan baik, haruslah terlebih dahulu mengetahui peran dari fibers dan matriks pada komposit tersebut. Peran dari fiber dan matriks ditulis dibawah ini.

Fungsi utama dari fiber dalam komposit adalah :

1. Menerima beban, pada komposit structural, 70%-90% beban diterima oleh fiber
2. Memberikan kekakuan, kekuatan, stabilitas termal, dan sifat structural lainnya dari komposit
3. Memberikan konduktivitas atau sebagai isolator listrik, tergantung jenis fiber apa yang di gunakan.

Material matriks harus memenuhi beberapa fungsi dari struktur komposit, yang dimana sangat vital untuk performa atau kerja dari komposit tersebut. Kegunaan material matriks pada komposit adalah sebagai berikut :

1. Matriks mengikat fiber dan meneruskan beban ke fiber.
2. Matriks memberikan bentuk kepada komposit.
3. Matriks mengisolasi fiber, sehingga fiber tersebut dapat terpisah, hal ini memperlambat munculnya crack.
4. Matriks memberikan hasil yang baik pada permukaan dari komposit.
5. Matriks melindungi fiber dari cairan kimia dan kerusakan akibat pemakaian.
6. Matriks yang elastis dapat meningkatkan ketangguhan dari struktur komposit, tergantung dari jenis matriks yang dipakai dalam pembuatan komposit. Untuk sifat



ketangguhan yang lebih tinggi, thermoplastic kompositlah yang dipilih.  
(Sanjay K. Mazumdar, 2001)

## **2.2 Nanokomposit**

Nanokomposit dapat dianggap sebagai struktur padat dengan dimensi berskala nanometer yang berulang pada jarak antar-bentuk penyusun struktur yang berbeda. Material-material dengan jenis seperti itu terdiri atas padatan inorganik yang tersusun atas komponen organik. Selain itu, material nanokomposit dapat pula terdiri atas dua atau lebih molekul inorganik/organik dalam beberapa bentuk kombinasi dengan pembatas antar keduanya minimal satu molekul atau memiliki ciri berukuran nano.

Ikatan antar partikel yang terjadi pada material nanokomposit memainkan peranan penting pada peningkatan dan pembatasan sifat material. Partikel-partikel yang berukuran nano tersebut memiliki luas permukaan interaksi yang tinggi. Semakin banyak partikel yang berinteraksi, semakin kuat pula material. Inilah yang membuat ikatan antar partikel semakin kuat sehingga sifat mekanik material bertambah. Namun, penambahan partikel-partikel nano tidak selamanya akan meningkatkan sifat mekaniknya. Ada batas tertentu dimana saat dilakukan penambahan, kekuatan material justru semakin berkurang. Namun pada umumnya, material nanokomposit menunjukkan perbedaan sifat mekanik, listrik, optik, elektrokimia, katalis, dan struktur dibandingkan dengan material penyusunnya. (Ida Sriyanti, 2009)



### 2.3 Poliuretan

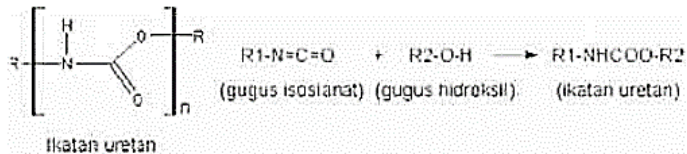
Poliuretan merupakan polymeric material yang mengandung uretan grup ( $\text{-NH-CO-O-}$ ) hasil reaksi dari *polyol* dengan *isocyanate*. Poliuretan dapat berupa serat yang mudah lengket. Suatu contoh Poliuretan yang amat sangat berpengaruh adalah spandex. Poliuretandihasilkan dari reaksi *diisocyanates* dengan *di-alcohols*. Terkadang *di-alcohol* digantikan dengan suatu *diamin*, sehingga polimer yang didapat nantinya disebut poliurea yang memiliki suatu ikatan urea. Akan tetapi, pada umumnya sering disebut poliuretan juga (karena poliurea tidak begitu terkenal). Poliuretan dapat berikatan dengan baik dengan hidrogen sehingga dapat membentuk suatu kristal. Oleh karena itu, polyurethane sering digunakan untuk co-polimer blok buatan dengan sifat elastis yang lembut khas polimer. Co-Polimer blok ini memiliki sifat termo-plastik *elastomers* (Anonim, 2007).

Komponen utama yang penting dari suatu poliuretran adalah *isocyanate* yang molekulnya berisi dua *isocyanate* (*diisocyanates*). Molekul ini juga dikenal sebagai monomers atau monomer unit. *Isocyanates* dapat berbau harum, seperti *diphenylmethane diisocyanate* (MDI) atau *toluene diisocyanat* (TDI); atau alifatik, seperti *hexamethylene diisocyanate* (HDI) atau *isophorone diisocyanate* (IPDI).

Komponen kedua yang juga tak kalah penting dari suatu polyurethane polymer adalah polyol (Molekul yang berisi dua kelompok hidroksit atau diols, memiliki 3 kelompok hidroksit atau triols). Dalam prakteknya, polyols dibedakan dari rantai yang pendek (*low-molecular*) seperti *ethylene glycol*, 1,4-*butanediol* (BDO), *diethylene glycol* (DEG),



*gliserin*, dan *trimethylol* sejenis metana (TMP). Sampai saat ini *polyurethane* telah banyak diaplikasikan untuk mengganti bahan-bahan seperti *rubber*, *metal*, *wood* dan *plastic*, persamaan reaksi pembentukan poliuretan ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 ikatan uretan dan hasil pembentukan poliuretan. (Raja Naposo Harahap, 2010)

Poliuretan dibuat dengan mereaksikan molekul yang memiliki gugus isosianat dengan molekul yang memiliki gugus hidroksil. Dengan demikian, jenis dan ukuran setiap molekul pembentuk akan memberikan sumbangan terhadap sifat Poliuretan yang terbentuk. Hal inilah yang membuat Poliuretan menjadi polimer yang sangat fleksibel baik dalam sifat mekanik maupun aplikasinya.

Saat ini, aplikasi Poliuretan paling banyak (sekitar 70%) adalah sebagai bahan busa, kemudian diikuti dengan *elastomer*, baru kemudian sebagai lem dan pelapis. Pembuatan busa dari Poliuretan dimungkinkan dengan menggunakan agen pengembang (*blowing agent*), yang akan menghasilkan gas pada saat terjadi reaksi sehingga Poliuretan dapat membentuk busa. Jika Poliuretan yang digunakan bersifat lunak, maka yang dihasilkan adalah busa lunak seperti pada kasur busa, alas kursi dan jok mobil. Ada juga jenis busa kaku (*rigid foam*), seperti pada insulasi dinding, insulasi lemari es, atau insulasi kedap suara. Busa Poliuretan bersifat ulet dan tidak mudah putus. Dalam aplikasi sebagai insulasi dinding, Poliuretan juga dapat



dibuat menjadi tahan api dengan penambahan senyawa halogen.

Keunggulan poliuretan dibanding dengan bahan-bahan lainnya (*rubber, metal, wood, dan plastic*):

1. Tingkat kekerasan suatu *spare part* sangat penting dalam penggunaan suatu mesin. Dengan menggunakan bahan poliuretan, kekerasan suatu *spare part* dapat diatur sedemikian rupa dari *hardness 10 shore A* sampai dengan *95 shore A*.
2. Mempunyai tingkat abrasi yang tinggi yang mengakibatkan *spare part* yang terbuat dari bahan poliuretan tidak mudah aus.
3. *Spare part* yang terbuat dari bahan poliuretan dapat *flexible* terhadap temperature rendah, bahan dapat dioperasikan sampai dengan dibawah 0°C.
4. *Spare part* yang terbuat dari bahan poliuretan tidak mudah sobek, kekuatannya lebih baik dari bahan *rubber*.

Pemakaian poliuretan di Indonesia sebagai bahan pendukung industry masih sangat tergantung pada impor, walaupun beberapa industry sudah mulai mencoba memproduksi poliuretan di dalam negeri. Banyaknya pabrik kertas, furniture, industri otomotif dan industry alas kaki di Indonesia membuat prospek usaha di bidang poliuretan di masa depan cukup menjanjikan, asalkan kita mau tekun mendalami teknik pembuatan dan pencetakannya. (Raja Naposo Harahap, 2010)

Tabel 2.1 dan 2.2 berikut akan menjelaskan sifat fisik dan mekanik yang dimiliki PU.

Tabel 2. 1 Sifat-Sifat *Polyurethane* (Kricheldorf, 2005)

Sifat fisik	
Massa jenis	1.12-1.24 gr/cm <sup>3</sup>
Serapan air	0.15-0.19 %
Penyusutan	0.4-1 %
Sifat mekanik	
Kekuatan Tarik	4500-9000 Psi
Perpanjangan hingga patah	60-550 %
Kekuatan terhadap impak Izod	1.5-1.8 ft-lb/in (tidak patah)
Sifat thermal	
Konduktivitas Termal	Max 0.027 W/mK
Temperatur proses	370-500 °F

Tabel 2. 2 Noise Reduction Coefficient (NRC) dari Beberapa Produk Foam (Lee, 2009)

Material	Density (lb/ft <sup>3</sup> )	NRC
<i>Polystyrene foam</i>	2.5	0.18
<i>Rigid polyurethane foam</i>	2.0	0.32
<i>Flexible polyurethane foam</i>	1.9	0.6-0.7
<i>Phenolic foam</i>	2.0-4.0	0.5-0.75





---

Fiberglass board at 2" thick	1.0	1.0
------------------------------	-----	-----

---

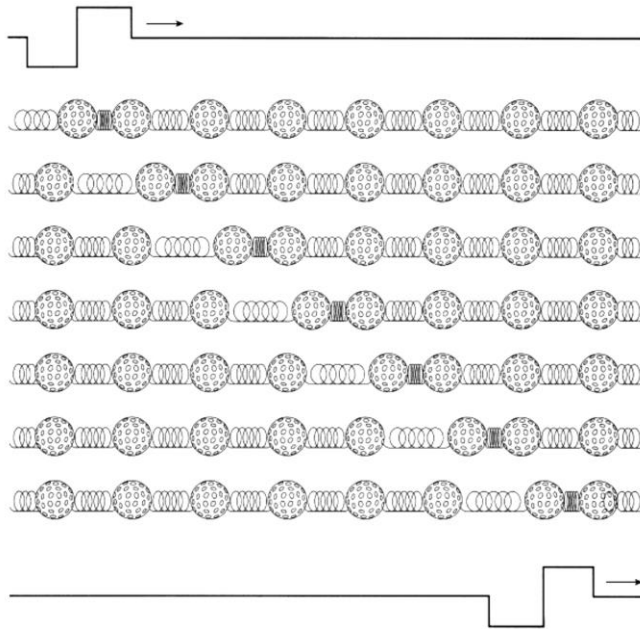
## 2.4 Sifat Gelombang Suara

Model mekanik sederhana dari suara yang merambat melalui suatu media dapat dilihat di gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Model gelombang suara (David M. Howard, 2009)

Hal ini menunjukkan perambatan suara dalam suatu medium pada satu dimensi, seperti perambatan suara pada udara, dimana dapat disebut *golf ball and spring model* karena dalam gambar tersebut terdapat beberapa bentuk seperti bola golf yang dihubungkan dengan pegas. Bola golf itu sendiri merepresentasikan titik dimana terdapat kumpulan massa dari molekul material, sedangkan pegasnya merepresentasikan gaya intermolekul diantaranya. Ketika bola golf yang diujung terkena gaya, maka pegas yang terhubung akan meneruskan gaya tersebut dan mendorong ke bola golf lainnya, lalu berulang terus demikian.



Gambar 2.4 Proses perambatan gelombang suara (David M. Howard, 2009)

Gambar 2.4 diatas menjelaskan proses perambatan getaran oleh gelombang suara dengan analogi bola golf dan pegas.

Kecepatan gelombang suara dipengaruhi oleh 2 hal, yaitu:

1. Massa dari *golf ball* dimana akan mempengaruhi penyebaran dari suara itu sendiri karena massa yang lebih berat akan lebih sulit untuk bergerak dan diam. Hal ini merepresentasikan *density* atau masa jenis dari



benda padat. Lebih besar masa jenisnya, maka suara akan lebih sulit bergerak.

2. Kekuatan dari *springs* atau pegas dimana akan kekuatan pegasnya akan mempengaruhi seberapa kuat pegas itu dapat mendorong bola golf tersebut. Semakin kuat pegasnya, maka akan dapat mendorong bola golf lebih jauh, dan akan mempercepat perambatan suara. Hal ini merepresentasikan modulus elastisitas dari suatu benda padat pada kejadian sebenarnya.

Dapat disimpulkan bahwa hal yang mempengaruhi kecepatan suara pada kejadian sebenarnya adalah masa jenis dari benda padat dan modulus elastisitasnya. (David M. Howard, 2009)

## **2.5 Material Akustik**

Material akustik adalah material teknik yang fungsi utamanya adalah untuk menyerap suara/bising. Tiap-tiap material akustik memiliki nilai kemampuan penyerapan bunyi yang berbeda-beda, seperti pada tabel 2.3 dibawah ini.



**Tabel 2.3** Koefisien Penyerapan Bunyi dari Material Akustik (Doelle, Leslie L, 1993)

Material	Frekuensi (Hz)					
	150	250	500	1000	2000	4000
Gypsum board (13 mm)	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Kayu	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
Gelas	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Tegel geocoustic (81 mm)	0.13	0.74	2.35	2.53	2.03	1.73
Beton yang dituang	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Bata tidak dihaluskan	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Steel deck (150 mm)	0.58	0.64	0.71	0.63	0.47	0.40

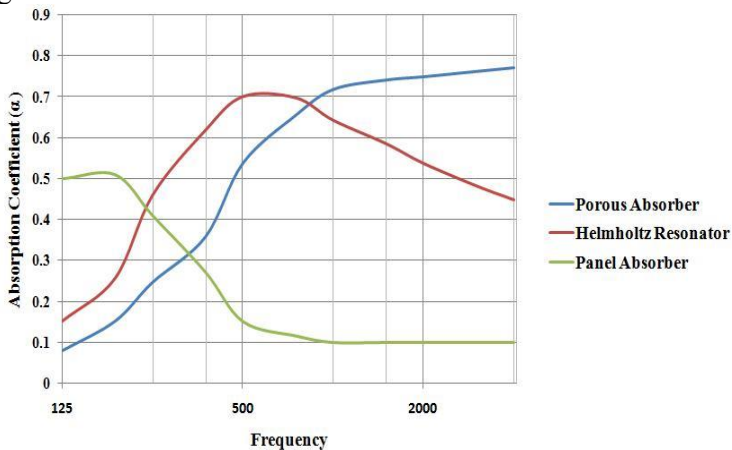
Bunyi, secara psikologis, didefinisikan sebagai hasil dari variasi-variasi tekanan disuatu medium baik udara maupun air yang berlaku pada permukaan telinga yang mengubah variasi tekanan menjadi sinyal-sinyal elektrik dan diterima otak sebagai bunyi. Bunyi juga dapat didefinisikan sebagai gangguan fisik dalam media yang memiliki tekanan dan sebagai medium pemindah gelombang bunyi. Medium ini dapat berupa udara, gas dan benda padat.

Kebisingan yang cukup tinggi, di atas 70 dB dapat menyebabkan kegelisahan, kurang enak badan, kejenuhan mendengar, sakit lambung dan masalah peredaran darah. Kebisingan di atas 85 dB dapat menyebabkan kemunduran serius pada kondisi kesehatan seseorang. Bila hal ini berkepanjangan dapat merusak pendengaran yang bersifat sementara maupun permanen. Tingkat kebisingan yang cukup tinggi untuk menyebabkan ketulian sementara atau permanen terjadi di industri. Berbagai kriteria telah ditetapkan dan



menyatakan tingkat kebisingan maksimum yang tidak boleh dilampaui. Bila tingkat kebisingan melampaui tingkat kebisingan yang membahayakan maka harus diambil suatu tindakan pencegahan untuk mereduksinya. (Hemond Jr, Conrad J, 1983)

Bahan penyerap suara tipe resonansi seperti panel kayu tipis, menyerap energi suara dengan cara mengubah energi suara yang datang menjadi getaran yang kemudian diubah menjadi energi gesek oleh material berpori yang ada di dalamnya (misal oleh udara atau material berpori). Ini berarti material tipe ini lebih sensitif terhadap komponen tekanan dari gelombang suara yang datang, sehingga lebih efektif apabila ditempelkan di dinding. Bahan penyerap tipe ini lebih dominan menyerap energi suara ber frekuensi rendah. Frekuensi resonansi bahan ini ditentukan oleh kerapatan massa dari panel dan kedalaman (tebal) rongga udara dibalikinya. Berikut adalah tipe tipe material penyerap suara yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dibawah.

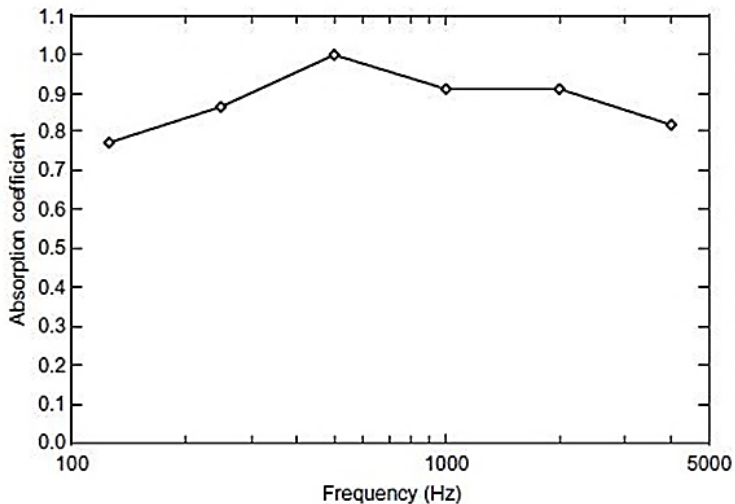


Gambar 2.5 Tipe Penyerapan Suara (Howard dan Angus, 2009)



Tipe lain dari bahan penyerap suara ini adalah Resonator Helmholtz. Efektifitas bahan penyerap suara tipe ini ditentukan oleh adanya udara yang terperangkap di pipa atau leher diatas bidang berisi udara. Permukaan berlubang menjadi ciri utama resonator yang bekerja pada frekuensi tertentu, tergantung pada ukuran lubang, leher dan volume ruang udaranya.

Apabila diinginkan sebuah material yang memiliki frekuensi kerja yang lebar (rendah, menengah, dan tinggi), maka harus digunakan gabungan ketiga bahan penyerap suara tersebut. Kombinasi antara proses gesekan dari komponen kecepatan gelombang suara dan resonansi dari komponen tekanan gelombang suara akan membuat kinerja penyerapan energi suara oleh material besar untuk seluruh daerah frekuensi. Kurva tipe Wideband ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Zona Frekuensi Tipe Wideband (Howard dan Angus, 2009)



## 2.6 Absorbsivitas dan Refleksitas Bunyi

Konsep dari penyerapan Bunyi (Acoustic Absorption) merujuk kepada kehilangan energi yang terjadi ketika sebuah gelombang bunyi menabrak dan dipantulkan dari suatu permukaan benda. Proses pemindahan daya bunyi dari suatu ruang tertentu, dalam mengurangi tingkat tekanan bunyi dalam volume tertentu, dikenal sebagai penyerapan bunyi. Proses ini berkaitan dengan penurunan jumlah energi bunyi dari udara yang menjalar hingga ia mengenai suatu media berpori atau fleksibel. Bagian energi terserap ketika gelombang bunyi dipantulkan darinya disebut dengan koefisien serapan bunyi dari material. Harga koefisien ini bergantung dari sifat material, frekuensi bunyi, dan sudut gelombang bunyi ketika material tersebut.

Persamaan matematisnya dapat ditulis demikian :

$$\alpha = \frac{\text{Energi yang Diserap}}{\text{Energi Total}} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\alpha = 1 - |R|^2 = 1 - \left| \frac{Z_2 - \rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 - Z_2} \right|^2 \dots \dots \dots (2.2)$$

Yang mana  $Z_2 = \rho_2 c_2 = \frac{\text{Applied Force}}{\text{Particle Velocity}} \dots \dots \dots (2.3)$

= impedansi bahan ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} = \text{rayls}$ )

$\rho_1$  = Kerapatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_2$  = Kerapatan bahan ( $\text{kg/m}^3$ )

$c_1$  = Cepat rambat bunyi di udara ( $\text{m/s}$ )

$c_2$  = Cepat rambat bunyi pada bahan ( $\text{m/s}$ )

Dengan R adalah koefisien refleksi suara, yang didefinisikan sebagai perbandingan tekanan gelombang suara yang dipantulkan terhadap tekanan gelombang suara yang



datang. Persamaan tersebut menggunakan asumsi bahwa tidak ada suara yang ditransmisikan atau diteruskan. Sehingga untuk menghitung normal impedansinya ( $Z$ ) dapat dihitung dengan persamaan 2.4 berikut

$$Z = \rho c \frac{1+R}{1-R} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :  $\rho$  = kerapatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$c$  = cepat rambat bunyi dalam udara ( $\text{m/s}$ )

$R$  = koefisien pantul

$Z$  = normal impedansi bahan ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} = \text{rayls}$ )

.(Raja Naposo Harahap, 2010)

## 2.7 Insulasi Termal

Permintaan utama untuk insulasi termal pada interior mobil adalah untuk mengisolasi penumpang dari panas yang berasal dari internal atau eksternal mobil yang mengganggu kenyamanan penumpang. Permintaan lainnya untuk material insulasi termal adalah melindungi komponen otomotif yang sensitif terhadap panas.

Proses heat transfer memiliki logika yang sederhana, yaitu panas akan bergerak dari temperatur tinggi ke temperatur rendah, dengan kata lain udara dingin tidak keluar atau panas tidak masuk. Untuk mengatasi permasalahan insulasi termal di industry, dibutuhkan *design engineer* untuk mengidentifikasi dan menghitung berapa banyak sumber panas yang perlu diteliti. Di luar kendaraan, ada dua sumber utama yaitu suhu lingkungan dan panas dari matahari, dimana sangat sulit dikontrol oleh *design engineer*. Untuk di dalam mobil sendiri, bagian mesin dan knalpotlah yang menjadi





sumber utama panas, namun ada juga beberapa komponen yang dapat membantu penghantaran panas tersebut.

Hukum kedua adalah besarnya *heat flow* tergantung dari perbedaan temperature dari satu benda ke benda yang lainnya, semakin besar perbedaan temperaturnya, maka semakin besar *heat flow*nya. Insulasi termal ditambahkan di system untuk mengurangi perbedaan temperature yang jauh tersebut dan mendistribusikan kembali panas yang mengalir menjauhi permukaan atau volume benda yang dikontrol.

Ada 3 cara panas berpindah dan semua dapat berpengaruh saat mengontrol *heat flow*, ketiga cara itu adalah

1. Konduksi, panas mengalir langsung dari getaran suatu molekul dan terjadi di semua fase padat dan cair
2. Konveksi, terjadi hanya di fase cair dan gas melalui perpindahan panas dari pergerakan fisik di medium
3. Radiasi, Terjadi di semua fase, namun tidak untuk fase padat yang tidak tembus cahaya dan secara umum panas berpindah melalui fase gas.

(American Acoustic Products,2016)

Dalam berbagai buku sudah dituliskan besarnya nilai konduktivitas termal dari berbagai bahan, tetapi sebagian besar mahasiswa tidak mengetahui dari mana nilai konduktivitas bahan itu bisa diperoleh. Alangkah baiknya jika dalam pembelajaran mahasiswa langsung dibawa kedalam kenyataannya atau bereksperimen agar lebih memudahkan



dalam memahami materi yang diajarkan. (Irmin, 2015).  
Konduktivitas panas suatu bahan adalah ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas (termal) (Holman, 1995).

Berikut merupakan beberapa nilai konduktivitas termal dari beberapa benda diambil dari buku fisika Dr. Ir. Bob Foster (2004) ditunjukkan pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Data nilai konduktivitas (Bob Foster, 2004)

Jenis Benda	Konduktivitas Termal (k)	
	J/m.s.C <sup>o</sup>	Kkal/m.s.C <sup>o</sup>
Perak	420	$1000 \times 10^{-4}$
Tembaga	380	$920 \times 10^{-4}$
Aluminium	200	$500 \times 10^{-4}$
Baja	40	$110 \times 10^{-4}$
Es	2	$5 \times 10^{-4}$
Kaca (biasa)	0,84	$2 \times 10^{-4}$
Bata	0,84	$2 \times 10^{-4}$
Air	0,56	$1,4 \times 10^{-4}$
Tubuh manusia	0,2	$0,5 \times 10^{-4}$
Kayu	0,08 – 0,16	$0,2 \times 10^{-4} - 0,4 \times 10^{-4}$
Gabus	0,042	$0,1 \times 10^{-4}$
Wol	0,040	$0,1 \times 10^{-4}$
Busa	0,024	$0,06 \times 10^{-4}$
Udara	0,023	$0,055 \times 10^{-4}$



## **2.8 Serat Tandon Kosong Kelapa Sawit**

Di Indonesia, tandan kosong kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan pulp kertas, papan serat dan pengisi volume bahan furniture. TKKS yang dimanfaatkan memiliki berbagai karakteristik yang perlu dilakukan penelitian oleh karena itu diperlukan adanya penelitian yang mengkaji mengenai karakteristik serat TKKS.

Pengolahan serat TKKS dimulai dari proses pengambilan sampel TKKS, sampel TKKS kemudian ditimbang beratnya sebelum diberikan perlakuan perebusan dan pengukusan, TKKS dicuci dengan air bersih agar kotoran-kotoran yang tidak diinginkan berkurang.

Pada perlakuan perebusan setelah dicuci dengan air bersih kemudian dimasukkan kedalam autoklaf dan diberi air perebusan dengan perbandingan 1:7 sampai air terlihat menggenangi permukaan TKKS. Sedangkan untuk perlakuan pengukusan setelah dicuci TKKS kemudian dimasukkan kedalam autoklaf tanpa penambahan air didalam tempat sampel autoklaf. Selanjutnya dinyalakan autoklaf dengan mengatur suhu dari suhu awal 0°C sampai suhu 105°C dengan lama waktu perebusan selama 60 menit.

Setelah selesai proses perebusan dan pengukusan kemudian dibuka autoklaf dan dikeluarkan TKKS dari autoklaf sampai TKKS tidak terlalu panas lalu dilakukan proses penguraian TKKS. Penguraian ini dilakukan secara manual. Setelah dilakukannya penguraian TKKS lalu dilanjutkan proses pengeringan TKKS menggunakan oven dengan suhu sekitar 90°C selama 60 menit. Setelah itu dipisahkan TKKS hasil pengovenan. Serat TKKS yang sudah selesai diberikan



perlakuan perebusan dan pengukusan lalu dilakukan proses pengeringan menggunakan oven dengan suhu sekitar  $60^{\circ}\text{C}$  selama 60 menit, kemudian dilakukan pengujian & pengamatan sampel serat TKKS terhadap perlakuan yang meliputi rendemen, kuat tarik, berat jenis, panjang dan diameter. Serat TKKS hasil perebusan dan pengukusan dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini



**Gambar 2.7** Serat TKKS dengan perlakuan Perebusan (A) dan Pengukusan (B) (Lya Agustina, 2016)

Data hasil pengamatan untuk tarik, berat jenis, panjang, diameter dan warna keseluruhan parameter yaitu rendemen, kuat serat TKKS disajikan pada tabel 2.5 dibawah ini.

**Tabel 2.5** Data Hasil Pengamatan. (Lya Agustina, 2016)

Nilai rata-rata	Parameter					
	Rendemen	Kuat Tarik	Berat Jenis	Panjang	Diameter	Warna
Kontrol	21,95%	1008.55 kg/cm <sup>2</sup>	0,13 gr/cm <sup>3</sup>	17,01 cm	0.50 mm	7,5 YR (6/4)
Perebusan	21,22%	1067.50 kg/cm <sup>2</sup>	0,14 gr/cm <sup>3</sup>	17,06 cm	0,55 mm	7,5 YR (7/4)
Pengukusan	20,99%	1073.73 kg/cm <sup>2</sup>	0,14 gr/cm <sup>3</sup>	17,08 cm	0,54 mm	7,5 YR (7/4)

**Kuat Tarik**

Uji kuat tarik adalah salah satu uji mekanik yang bertujuan mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Berdasarkan hasil pengamatan (Tabel 1) diperoleh rata-rata kuat tarik serat TKKS dengan pengukusan sebesar 1073.73 kg/cm<sup>2</sup>, perebusan sebesar 1067.50 kg/cm<sup>2</sup> dan control sebesar 1008.55 kg/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan perlakuan perebusan dan pengukusan terhadap kuat tarik pada serat. Serat tandan kosong kelapa sawit dimanfaatkan sebagai papan partikel. Pada penelitian ini kuat tarik serat dapat diaplikasikan sebagai bahan tambahan untuk pembuatan komposit papan partikel. (Lya Agustina, 2016)

**2.9 Komposisi Kimia Serat Kelapa Sawit**

Dapat diketahui bahwa komposisi kimia dari serat kelapa sawit bermacam macam tergantung jenis dan asalnya (Chew dan Bhatia 2008). Umumnya yang diteliti dalam komposisi serat ini adalah ligninselulosa dimana didalamnya terdapat selulosa, hemiselulosa, lignin, dan abu. Berikut akan dilampirkan tabel komposisinya. Dari tanaman kelapa sawit, ada beberapa bagian yang dapat diambil nanoselulosanya, seperti dari batangnya (OPT), daunnya (OPF), dan dari buahnya (EFB). Serat yang didapat dari buahnya (EFB) adalah serat ligninselulosa dimana selulosa dan ligninselulosanya dipenguat oleh lignin. Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa serat yang diambil dari buahnya memiliki kandungan selulosa yang paling banyak dibanding bagian yang lainnya. Berikut



merupakan tabel 2.6 yang berisi komposisi dari serat kelapa sawit pada tiap bagiannya.

Tabel 2.6 Komposisi Serat Kelapa Sawit (H.P.S. Abdul Khalil dkk,2012)

Komposisi	Bagian Kelapa sawit beserta komposisi kimianya (wt%)		
	EFB	OPF	OPT
Selulosa	43-65	40-50	29-37
Hemiselulosa	17-33	34-38	12-17
Holoselulosa	68-86	80-83	42-45
Lignin	13-37	20-21	18-23
Xylose	60-66	26-29	15-18
Glukosa	60-66	62-67	30-32
Abu	1-6	2-3	2-3

## 2.10 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Serat Kelapa Sawit

Tabel berikut akan menampilkan data tentang sifat fisik dari serat kelapa sawit. Kekuatan serat adalah hal yang sangat penting untuk diperhatikan saat pemilihan aplikasi. Sementara panjang serat sendiri juga berpengaruh dalam ikatan dan distribusi tekanan dalam komposit (Khalil et al,2008). Dari penelitian-penelitian juga diketahui bahwa serat kelapa sawit dari batangnya lebih pendek dan lebih tebal dibandingkan dengan serat dari daun ataupun buah kelapa sawit. Sudut mikrofibril, dimensi sel, dan komposisi kimia dari serat tersebut mempengaruhi sifat sifat serat yang lainnya. Berikut merupakan tabel sifat fisik serat kelapa sawit yang dijelaskan pada tabel 2.7.



Tabel 2.7 Sifat Fisik Serat Kelapa Sawit (H.P.S. Abdul Khalil dkk,2012)

Fiber	Panjang Fiber (mm)	Diameter Fiber (mm)	Lebar Lumen ( $\mu\text{m}$ )	Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )	Sudut fibril ( $^\circ$ )
EFB	0.89- 1.42	8-300	8	0.7-1.55	46
OPF	0.59- 1.59	11-19.7	8.2- 11.6	0.6-1.2	40
OPT	0.6-1.22	29.6-35.3	17.6	0.5-1.1	42

Tabel berikut akan menampilkan data tentang sifat mekanik dari kelapa sawit. Sifat mekanik seperti tensile strength dan modulus dipengaruhi oleh komposisi dan struktur dari serat itu sendiri. Serat yang lebih tebal cenderung mempunyai nilai tensile strength yang rendah, namun memiliki ketahanan sobek yang tinggi. Sifat mekanik dari serat juga dipengaruhi oleh kadar selulosa dan kristalinnya (bledzki dan gassan, 1999). Serat kelapa sawit tergolong keras dan tangguh, sehingga mempunyai potensi untuk menjadi penguat bagi matriks polimer. Tabel 2.8 berikut menjelaskan sifat sifat mekanik yang dimiliki serat kelapa sawit.



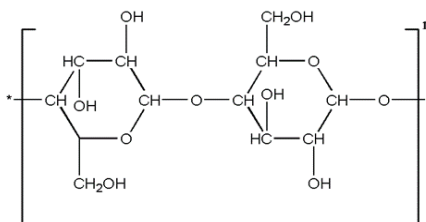
Tabel 2.8 Sifat Mekanik Serat Kelapa Sawit (H.P.S. Abdul Khalil dkk,2012)

Fiber	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Young (GPa)	Perpanjangan saat putus (%)
EFB	50-400	0.57-9	2.5-18
OPF	20-200	2-8	3-16
OPT	300-600	8-45	5-25

### 2.11 Selulosa

Selulosa merupakan suatu polisakarida yang mempunyai formula umum seperti pati ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>. Sebagian besar selulosa terdapat pada dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuhan-tumbuhan (Anggorodi, 1994). Selulosa merupakan substansi yang tidak larut dalam air yang terdapat di dalam dinding sel tanaman terutama dari bagian batang, tangkai dan semua bagian yang mengandung kayu. Selulosa merupakan homopolisakarida yang mempunyai molekul berbentuk linear (Lehninger et.al, 2000). Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia maupun mekanis. Di alam, biasanya selulosa berasosiasi dengan polisakarida lain seperti hemiselulosa atau lignin membentuk kerangka utama dinding sel tumbuhan (Holtzapple et.al, 2003). Struktur kimia selulosa ditunjukkan pada Gambar 2.8.





Gambar 2.8 Struktur Kimia Selulosa (Chen, 2014)

### 2.12 Nanokristalin Selulosa

Nanokristalin selulosa dibentuk oleh partikel yang berbentuk seperti batang dengan lebar sekitar 5-70nm dan panjang 100nm- beberapa micrometer. Partikelnya 100% selulosa dan berbentuk kristalin 54-88% (Moon, 2011). Rasio ukuran dihitung dari perbandingan antara panjang dan diameternya. Variasi dimensi, morfologi, derajat kristalisasi dipengaruhi oleh sumber selulosa dan proses sintesisnya. (Habibi, 2010) dan juga teknik eksperimennya. Proses pembelahan rantai selulosa terjadi secara acak pada saat proses hidrolisis, dimensi dari kristal nanoselulosa tidak sama. Dari beberapa penelitian diketahui bahwa selulosa yang didapat dari kulit dan bakteri umumnya mempunyai dimensi yang lebih besar daripada selulosa yang didapat dari kayu dan kapas. Hal ini disebabkan karena kulit dan bakteri lebih berkrystal, maka dari itu fraksi amorfus yang harus dibelah lebih rendah dan menghasilkan nanokristalin selulosa yang lebih besar. Ukuran dari nanokristalin selulosa yang didapat dari kayu adalah 3-5 nm lebarnya dan 100-200nm panjangnya, dan ukuran nanokristalin selulosa yang mirip juga didapati dari serat ligninselulosa. Karakteristik morfologi dari nanokrsitalin



selulosa biasanya dapat diteliti dari TEM ( Transmission Electron Microscope) dan SEM (Scanning Electron Microscope).(L. Brinchi, 2013)

### 2.13 Alkalisasi

Karena nanofibres selulosa berbasis tanaman berpotensi untuk diekstraksi ke dalam serat yang lebih tipis dari selulosa bakteri, banyak peneliti telah secara ekstensif mempelajari ekstraksi nanofibres dari kayu dan serat tanaman lainnya. Di dinding sel, nanofibres selulosa tertanam dalam zat matriks seperti hemiselulosa dan lignin, dan sampai saat ini, penghapusan zat matriks telah dilakukan sebelum proses fibrilasi. Pulpa yang dikelantang sering digunakan untuk melewati proses pelepasan matriks. Namun, karena struktur serat tanaman berlapis-lapis yang rumit dan ikatan hidrogen antarmolekul, fibril yang diperoleh dengan metode ini adalah gabungan nanofibres dengan distribusi lebar yang lebar. Studi dilakukan untuk menyiapkan mikrofibril selulosa dari bit gula, tunicin, dll. Tapi mikrofibril selulosa yang diperoleh dari sumber ini memiliki beberapa kelemahan. Mikrofibril selulosa bakteri sangat mahal dan dapat menyebabkan masalah kontaminasi pada aplikasi organik.

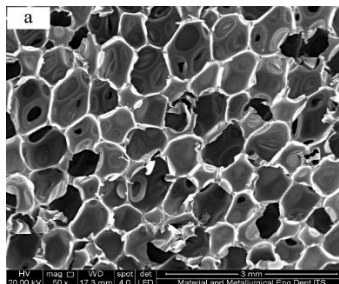
Proses Alkalisasi diketahui menghilangkan sejumlah lignin, hemiselulosa, lapisan lilin, dan minyak pada permukaan dari dinding sel pada serat, mendepolimerisasi struktur awal selulosa, mengecilkan diameter serat, dan memperlihatkan secara sekilas kristalinitas. *Bleaching* digunakan untuk menghilangkan bahan penyemen sisa dari serat. Hemiselulosa adalah polisakarida yang larut dalam air. Lignin adalah



senyawa organik kompleks dengan karakter alkali larut. Oleh karena itu persentase lignin menurun dari serat mentah menjadi serat yang di-*bleaching*. Untuk mendapatkan nanoselulosa mereka menggunakan asam kuat dengan konsentrasi tinggi 70-80% untuk pembuatan nanofibres dari serat alami. Mereka cenderung beracun dan degradasi selulosa ditemukan di dalamnya. Kami menggunakan asam ringan dengan konsentrasi rendah (5% asam oksalat) yang mengatasi toksisitas, tanpa degradasi selulosa. Di sini kami melaporkan ekstraksi nanofibres selulosa yang efisien dari serat alami seperti serat daun pisang, goni dan nanas seperti yang ada di dinding sel, dengan perawatan kimia ringan diikuti dengan perawatan mekanis yang sangat sederhana. (Abraham dkk, 2011)

## 2.14 Penelitian Terdahulu

Dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh jonathan dan Farid (2016), didapatkan hasil SEM poliureatan murni yang terlihat rapi dan jelas porinya ditunjukkan pada gambar 2.9 dibawah ini



Gambar 2.9 Struktur SEM poliuretan Murni (Jonathan dan Farid, 2016)



Juga didapatkan bahwa dengan penambahan serat nanoselulosa, koefisien absorpsi suara dari komposit bertambah dan mencapai nilai tertinggi pada frekuensi yang paling tinggi (4000 Hz) yaitu 0.405. Menurut Farid dan Erdin (2016), komposit serat bambu dengan *polyurethane* mempunyai kemampuan penyerapan suara yang berbeda-beda pada frekuensi tertentu. Pada frekuensi 500 Hz, nilai  $\alpha$  (koefisien absorpsi) sebesar 0,404. Seiring bertambahnya frekuensi, besar  $\alpha$  pun meningkat. Pada frekuensi 2000 Hz, nilai rata-rata  $\alpha$  sebesar 0,428 dan frekuensi 4000 Hz, nilai rata-rata  $\alpha$  sebesar 0,435. Selain itu, komposit *polyurethane* berpenguat serat kelapa mengalami peningkatan koefisien absorpsi seiring bertambahnya frekuensi. Nilai koefisien absorpsi terbaik terjadi pada frekuensi 2000 dan 4000 Hz yaitu sebesar 0.444 (Farid dan Rani, 2016). Akan tetapi, perlu diketahui bahwa semakin besar nilai dari koefisien absorpsi suara suatu material bukan berarti bahwa material tersebut bagus, hal ini dikembali lagi pada kegunaannya (Suban dan Farid, 2015).

Komposisi pada pembuatan spesimen komposit sangat mempengaruhi dari hasil nilai koefisien absorpsi suara. Pengaruh dari serat yang ditambahkan pada material komposit bermatriks gypsum akan menghasilkan nilai koefisien absorpsi yang berbeda. Hal ini dikarenakan serat terdiri dari beberapa serat halus yang apabila dilihat dari mikroskop optik terlihat bahwa serat tersebut memiliki pori-pori yang mampu menampung suara. ikatan fisis antara serat sebagai penguat dan matriks gypsum juga akan membentuk rongga-rongga halus yang akan menampung suara yang diterima oleh spesimen komposit. (Farid dan Agung, 2015).

Penelitian dari Farid dan Tri (2013) mengatakan bahwa komposit poliester berpenguat serat rami memiliki nilai absorpsi suara sebesar 0.835 pada frekuensi 1255 Hz.



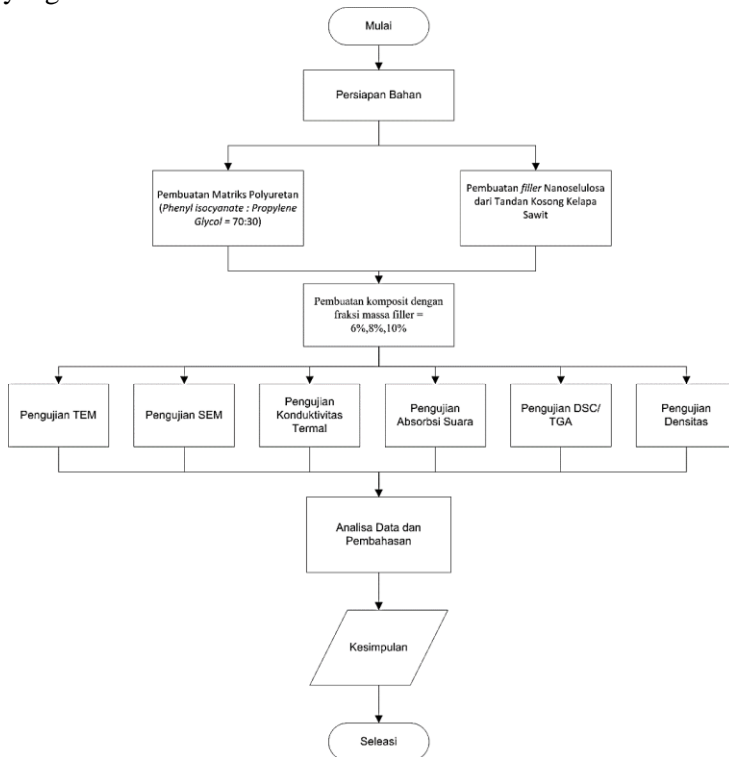
Penelitian Farid dan Hosta (2015) mengatakan bahwa komposit poliester berpenguat serat bambu dan rami memiliki nilai absorpsi suara sebesar 0.836 pada frekuensi 125 Hz dan 0.972 pada frekuensi 1000 Hz.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Percobaan

#### 3.1.1 Diagram Alir Pembuatan Keseluruhan

Gambar 3.1 berikut merupakan diagram alir penelitian yang dilakukan.

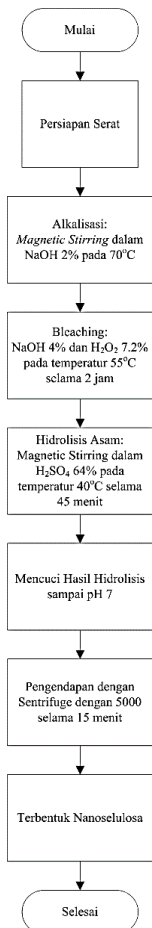


Gambar 3.1 Diagram Alir Keseluruhan



### 3.1.2 Diagram Alir Pembuatan *Filler* Nanoselulosa

Pada gambar 3.2 berikut merupakan diagram alir pembuatan nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit.



Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan nanoselulosa



### **3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian**

#### **3.2.1 Bahan Penelitian**

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Tandan Kosong Kelapa Sawit



Gambar 3.3 Serat TKKS

Serat TKKS ditunjukkan pada gambar 3.3 diatas.

2.  $\text{H}_2\text{SO}_4$



Gambar 3.4  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Bahan kimia  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ditunjukkan pada gambar 3.4 diatas





### 3. NaOH



Gambar 3.5 NaOH

Bahan kimia NaOH ditunjukkan pada gambar 3.5 diatas

### 4. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



Gambar 3.6 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Bahan kimia H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ditunjukkan pada gambar 3.6 diatas



#### 5. PU A dan PU B



Gambar 3.7 PU A dan PU B

PU A yang merupakan *Polyisocyanate* dan PU B yang merupakan *Polyol Compound* yang terdiri dari katalis, air, dan *silicone surfactant* diterangkan pada gambar 3.7 diatas.

#### 6. Air Destilasi



Gambar 3.8 Air Destilasi

Air destilasi atau aquades yang merupakan bahan kimia diterangkan pada gambar 3.8 diatas.

### 3.2.2 Peralatan Penelitian



Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Cetakan



Gambar 3.9 Cetakan Spesimen

Cetakan digunakan untuk menyesuaikan bentuk komposit untuk dilakukan pengujian ditunjukkan pada gambar 3.9.

2. Timbangan Digital



Gambar 3.10 Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa matriks dan filler yang akan digunakan ditunjukkan pada gambar 3.10.

3. Penggaris



Gambar 3.11 Penggaris  
Penggaris untuk mengukur dimensi spesimen  
ditunjukkan pada gambar 3.11.

#### 4. Aluminium Foil



Gambar 3.12 Alumunium Foil  
Aluminium foil digunakan untuk menutupi  
bagian bawah cetakan agar tidak terjadi kebocoran.

#### 5. Oven



Gambar 3.13 Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan serat sebelum diproses ditunjukkan pada gambar 3.13 dan merupakan milik Departemen Teknik Material ITS.

#### 6. Gelas Plastik



Gambar 3.14 Gelas Plastik

Gelas Plastik digunakan sebagai wadah mencampur PU A dan B serta nanoselulosa ditunjukkan pada gambar 3.14.

#### 7. Hot plate dan Magnetic Stirrer



Gambar 3.15 Hot Plate dan Magnetic Stirrer

Hot Plate dan Magnetic Stirrer yang digunakan milik Laboratorium Inovasi Teknik Material FTI-ITS ditunjukkan pada gambar 3.15.

#### 8. Centrifuge



Gambar 3.16 Mesin Centrifuge



Centrifuge yang digunakan milik Laboratorium Limbah Padat dan B3 di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS ditunjukkan pada gambar 3.16.

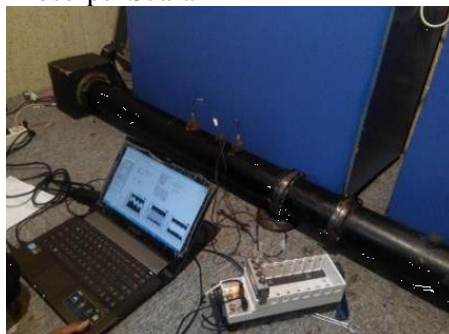
#### 9. Mesin Sieving



Gambar 3.17 Mesin Sieving

Mesin Sieving yang digunakan adalah milik Laboratorium Fisika Material milik Departemen Teknik Material FTI-ITS ditunjukkan pada gambar 3.17.

#### 10. Alat Uji Absorpsi Suara



Gambar 3.18 Alat Uji Absorpsi Suara



Alat uji koefisien absorpsi suara milik laboratorium di Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS ditunjukkan pada gambar 3.18.

#### 11. Alat Uji SEM



Gambar 3.19 Alat SEM

Alat uji SEM yang digunakan milik laboratorium di Departemen Teknik Material FTI ITS ditunjukkan pada gambar 3.19.

#### 12. Alat Uji TEM



Gambar 3.20 Alat TEM

Alat uji TEM yang digunakan milik Departemen Kimia Universitas Gajah Mada.





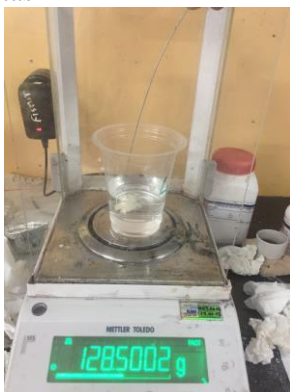
### 13. Alat Uji Konduktivitas Termal



Gambar 3.21 Alat uji konduktivitas termal

Alat uji konduktivitas termal yang digunakan milik Laboratorium Universitas Indonesia.

### 14. Alat Uji Densitas



Gambar 3.22 Alat uji densitas



Alat uji densitas yang digunakan menggunakan timbangan digital, tabung ukur, dan sinker (kawat) di Laboraturium Departemen Teknik Material FTI-ITS ditunjukkan pada gambar 3.22.

#### 15. Alat Coating



Gambar 3.23 Alat coating

Alat untuk men-Coating sebelum dilakukan pengujian SEM yang digunakan milik laboratorium di Departemen Teknik Material FTI ITS dan ditunjukkan pada gambar 3.23 diatas.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel Penelitian yang digunakan adalah perbedaan fraksi masa filler nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit yang ditambahkan pada komposit yaitu 5%, 10%, dan 15%.



### **3.4 Metode Penelitian**

#### **3.4.1 Persiapan Bahan**

Untuk dapat melaksanakan pengujian, bahan harus disiapkan dengan baik. Pengaruh bahan sangat penting dalam menentukan hasil pengujian kedepannya.

##### **3.4.1.1 Pengolahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit**

1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dijemur selama  $\pm 1$  hari
2. Serat dari TKKS diambil dan dibersihkan dengan air bersih
3. Serat dikeringkan dalam oven dengan temperatur  $60^{\circ}\text{C}$  selama 12 jam
4. Melakukan mechanical crushing dengan mesin pencacah organik
5. Serat di-*meshing* untuk mendapatkan ukuran yang homogen sampai 280 mikron
6. Melakukan alkalisasi pada serat TKKS dengan NaOH 2% selama 3 jam pada  $70^{\circ}\text{C}$  menggunakan magnetic stirrer
7. Melakukan bleaching dengan NaOH 4% dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  7.2% selama 2 jam pada  $55^{\circ}\text{C}$
8. Mencuci hasil rendaman dengan air sampai pH netral
9. Didapatkan serat mikroselulosa
10. Serat mikroselulosa dihidrolisis menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  64% pada temperatur  $40^{\circ}\text{C}$  dengan pengadukan manual selama 45 menit
11. Proses hidrolisis dilakukan dengan metode waterbath
12. Melarutkan air sebanyak 10 kali dari jumlah  $\text{H}_2\text{SO}_4$
13. Melakukan centrifuge pada 5000 rpm selama 3-4 jam
14. Melakukan pencucian dengan air sampai pH mencapai netral
15. Hasil pencucian dikeringkan pada  $55^{\circ}\text{C}$
16. Nano selulosa ditimbang sesuai perhitungan

**3.4.1.2. Pengolahan Matriks**

Dimasukan PU A (*Polyisocyanate*) dan PU B (*Polyol Compound*) kedalam wadah yang berbeda dengan massa tertentu sesuai dengan perhitungan.

**3.4.1.3. Pembuatan Cetakan**

1. Untuk cetakan uji absorpsi suara terbuat dari seng dengan diameter 100 mm dan tinggi 30 mm.
2. Untuk cetakan uji insulasi termal terbuat dari seng dengan ukuran diameter 10mm dan tinggi 40 mm
3. Untuk cetakan uji SEM berukuran maksimal 10x10x10 mm.

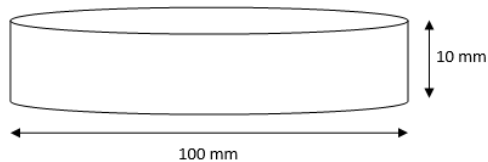
**3.2.1.4. Pembuatan Komposit**

1. Menimbang massa Polyisocyanate dan Polyol Compound sesuai dengan perbandingan yang telah ditentukan.
2. Menimbang massa nanoselulosa sesuai fraksi yang telah ditentukan.
3. Memasukan nanoselulosa kedalam wadah Polyisocyanate kemudian diaduk dengan magnetic stirrer sampai merata
4. Menuangkan Polyol Compound kedalam wadah dan diaduk sampai pencampurannya homogen dan warnanya menjadi terang
5. Menuangkan adukan tersebut ke dalam cetakan dan didiamkan selama kurang lebih 30 menit.
6. Mengeluarkan spesimen dari cetakan.
7. Menyesuaikan ukuran spesimen dengan standar pengujian.



### **3.4.2. Proses Pengujian**

#### **3.4.2.1. Pengujian Koefisien Absorpsi Suara**



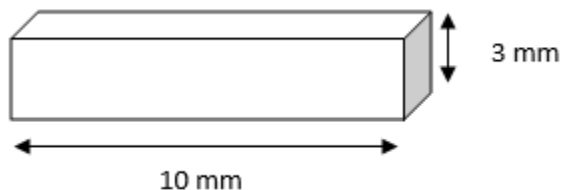
Gambar 3.24 Dimensi Spesimen yang Akan Dibuat

Pengujian ini menggunakan metode ruang gema termasuk dalam pengukuran menggunakan metode tak langsung mengacu pada ASTM E1050.

Cara kerjanya adalah specimen yang berbentuk tabung ke dalam bagian kepala tabung impedansi kemudian diatur frekuensi suara pada amplifier, maka speaker akan memberikan suara kedalam tabung impedansi dan sound level meter.

#### **3.4.2.2. Pengujian SEM**

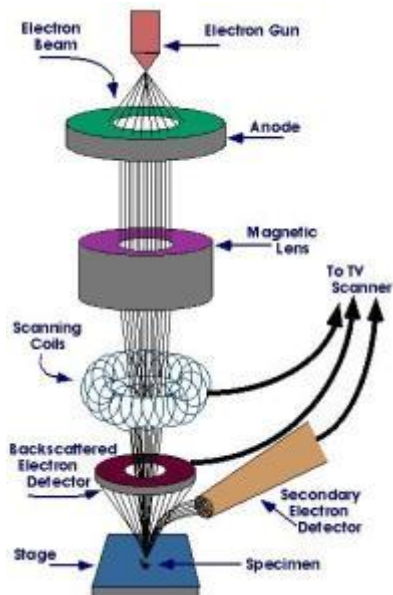
Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk partikel material. Standar yang digunakan adalah ASTM E986. Specimen uji berbentuk balok kecil berukuran 10x10x3 mm



**Gambar 3.25** Dimensi Spesimen SEM



Prinsip kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari *electron gun* lalu melewati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display. Skema prinsip kerja SEM ditunjukkan pada Gambar 3.5



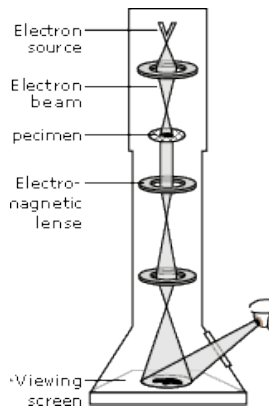
**Gambar 3.26** Prinsip Kerja SEM (Jimping Zhou, 2000)



### **3.4.2.3. Pengujian TEM**

TEM memiliki fungsi untuk analisis morfologi, struktur kristal, dan komposisi spesimen. TEM menyediakan resolusi lebih tinggi dibandingkan SEM, dan dapat memudahkan analisis ukuran atom (dalam jangkauan nanometer) menggunakan energi berkas electron sekitar 60 sampai 350 keV. TEM cocok untuk menjadi teknik pencitraan material padat pada resolusi atomik. Informasi struktural diperoleh dengan pencitraan resolusi tinggi dan difraksi elektron. Ketika elektron ditumbukkan pada sebuah permukaan material, dari permukaan tersebut akan dipancarkan elektron. Dari pancaran elektron ini bisa diketahui bentuk permukaan zat tersebut, itu merupakan asas kerja dari mikroskop elektron TEM yang banyak dipakai secara luas pada pengembangan material, kedokteran, bioteknologi dan sebagainya.

Prinsip kerja TEM dimulai dari sumber emisi (pistol elektron) yaitu tungsten filament dan sumber lanthanum hexaboride ( $\text{LaB}_6$ ). Dengan menghubungkan pistol ini dengan sumber tegangan tinggi (biasanya  $\sim 100\text{-}300\text{ kV}$ ) pistol akan mulai memancarkan elektron baik dengan termionik maupun emisi medan elektron ke sistem vakum. ekstraksi ini biasanya dibantu dengan menggunakan silinder Wehnelt. Interaksi elektron dengan medan magnet akan menyebabkan elektron bergerak sesuai dengan aturan tangan kanan, sehingga memungkinkan elektromagnet untuk memanipulasi berkas elektron. Penggunaan medan magnet akan membentuk sebuah lensa magnetik dengan kekuatan fokus variabel yang baik. Selain itu, medan elektrostatik dapat menyebabkan elektron didefleksikan melalui sudut yang konstan. Dua pasang defleksi yang berlawanan arah dengan intermediete gap akan membentuk arah elektron yang menuju lensa.



**Gambar 3. 1** Prinsip Kerja TEM

#### 3.4.2.4. Pengujian Densitas

Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui besarnya densitas dari spesimen. Standar yang digunakan adalah ASTM D792. Untuk ukuran spesimen uji disesuaikan. Spesimen ditimbang di udara kemudian ditimbang ketika direndam dalam air pada temperatur ruangan dengan menggunakan pemberat dan kawat untuk menahan spesimen benar-benar tenggelam sebagaimana dibutuhkan. Kepadatan dan berat jenis dihitung. Untuk menghitung massa jenis digunakan spesimen yang sama dengan spesimen absorpsi suara. Perhitungan massa dilakukan dengan mengukur massa dengan timbangan digital.

Untuk perhitungan pertama, mencari berat jenisnya:

$$\text{Berat jenis} = a / [(a + w) - b] \quad (3.1)$$

dimana

a = massa spesimen di udara.

b = massa spesimen dan pemberat (jika digunakan) dalam air.

w = massa pemberat tenggelam jika digunakan atau





sebagian terendam dengan kawat.

Densitas,  $\text{kg} / \text{m}^3 = (\text{berat jenis}) \times (997,6)$

#### 3.4.2.5 Pengujian Konduktivitas Termal

Pengukuran konduktivitas termal adalah untuk mengetahui peristiwa perpindahan panas secara konduksi, sehingga dengan mengetahui besarnya konduktivitas termal dari suatu bahan (material) maka dapat diperkirakan aplikasi material tersebut untuk selanjutnya pengujian konduktivitas termal dari sampel dapat diukur dengan menggunakan standar ASTM C 177-97 yang memenuhi persamaan berikut

$$k = \frac{\Delta W}{\Delta t} \times \frac{L}{A \Delta T} \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana :

$k$  = konduktivitas termal ( $\text{W/mK}$ )

$\Delta W / \Delta t$  = laju aliran energy ( $\text{J/s}$ )

$A$  = luas permukaan bahan ( $\text{m}^2$ )

$L$  = ketebalan pelat

$\Delta t$  = selisih temperature plat ( $\text{K}$ )

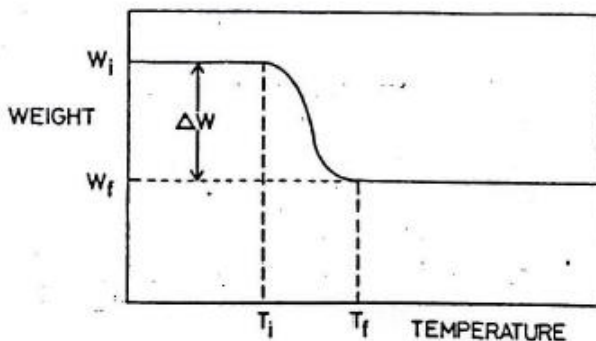
#### 3.4.2.6 Pengujian TGA

*Thermogravimetric Analysis* (TGA) adalah alat pengukuran perubahan massa yang terjadi akibat dari perubahan temperatur. TGA dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan massa sample (*weight loss*). Analisa tersebut bergantung pada tiga pengukuran yaitu berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Analisa termal gravimetri merupakan metode analisis yang menunjukkan sejumlah urutan dari lengkungan thermal, kehilangan berat dari bahan setiap tahap, dan temperatur awal penurunan. Analisa termal gravimetric dilakukan untuk menentukan kandungan pengisi dan kestabilan termal dari suatu bahan. Metode TGA



ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar sampai temperatur tinggi yang biasanya sekitar 900°C.

Alat TGA dilengkapi dengan timbangan mikro didalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan disajikan dalam tampilan grafik. Pada pemanasan yang terus menerus dari temperatur kamar, maka pada temperatur tertentu material akan kehilangan cukup signifikan dari massanya. Kehilangan massa pada temperatur tertentu dapat mengindikasikan kandungan dari bahan uji, meski tidak bisa secara spesifik merujuk pada suatu senyawa tertentu seperti yang misalnya ditunjukkan oleh puncak – puncak dari histogram FTIR. Sehingga biasanya TGA digunakan untuk melakukan analisa proximate seperti kadar air, kadar senyawa volatil dan kadar abu dalam bahan. Spesimen yang telah dipotong sehingga berukuran kecil dimasukkan ke dalam cawan kecil dari bahan platina, atau alumina ataupun Teflon. Pemilihan bahan dari cawan ini perlu disesuaikan dengan bahan uji. Pastikan bahan uji tidak bereaksi dengan bahan cawan serta tidak lengket ketika dipanaskan



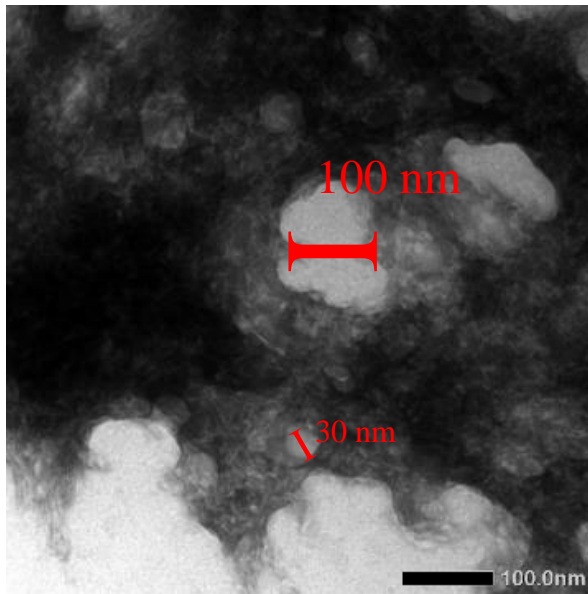
**Gambar 3.28** Prinsip TGA

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Morfologi

#### 4.1.1 Hasil Pengujian TEM

Morfologi dari nanoselulosa serat tandan kosong kelapa sawit ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut. Hasil percobaan TEM tersebut dilakukan setelah serat dari tandan kosong kelapa sawit diberi perlakuan *acid hydrolysis* dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  64% dan didapati hasil pengujian sebagai berikut.



Gambar 4.1 hasil TEM Nanoselulosa

Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nanoselulosa yang berwarna terang atau putih yang menggumpal atau teraglomerasi. Didapati bahwa ukuran dari nanoselulosa yang terbentuk adalah sekitar 30 – 100 nm.

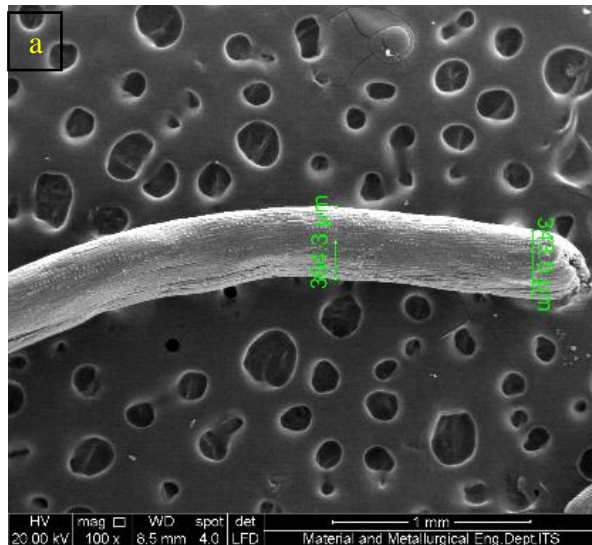


Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan wulandari (2016) dimana penelitian tersebut juga mensintesis nanoselulosa dari tebu dengan menggunakan *acid hydrolisis*  $\text{H}_2\text{SO}_4$  50% dan 60%. Penelitian tersebut mengatakan ketika menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  50% terbentuk kristalin nanoselulosa sebanyak 67.83% sedangkan ketika menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  60% terbentuk kristalin nanoselulosa sebanyak 76,01%. Dapat disimpulkan bahwa ketika percobaan ini memakai  $\text{H}_2\text{SO}_4$  64% juga terbentuk nanokristalin.

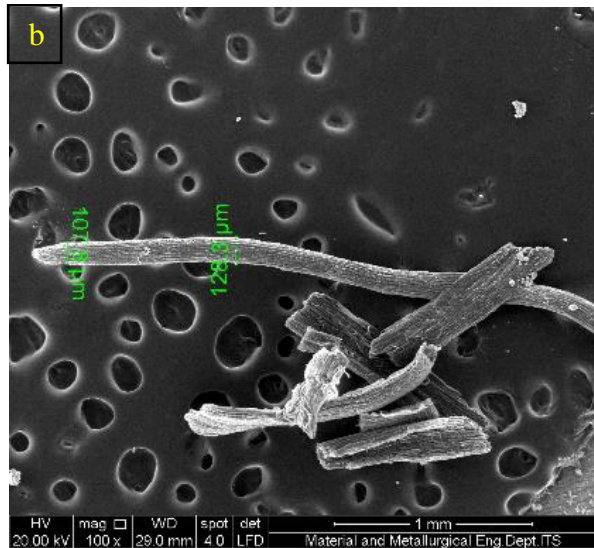
#### 4.1.2 Hasil Pengujian SEM

##### 4.1.2.1 Hasil Pengujian SEM Serat

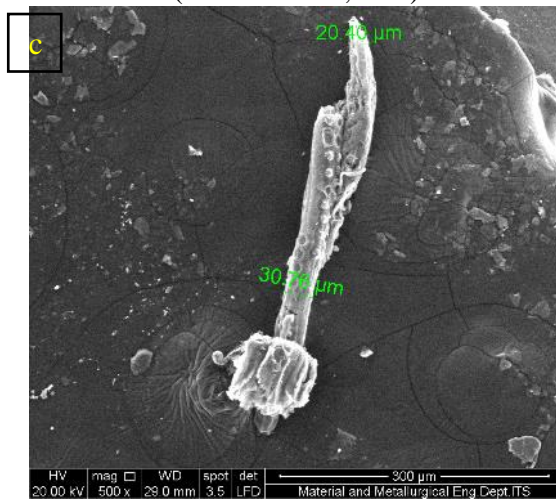
Berikut merupakan hasil pengujian SEM yang dilakukan pada serat mulai dari mentah hingga terhidrolisis



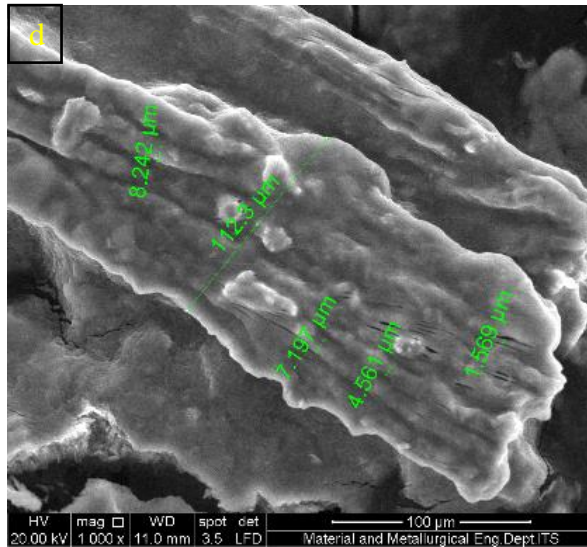
Gambar 4.2 Hasil SEM TKKS perlakuan pencucian (Muthia, 2017)



Gambar 4.3 Hasil SEM TKKS perlakuan alkalisasi  
(Rachmadhani, 2017)



Gambar 4.4 Hasil SEM TKKS perlakuan bleaching



Gambar 4.5 Hasil SEM TKKS perlakuan hidrolisis (Henry, 2017)

Tabel 4.1 Data diameter serat TKKS

Perlakuan	Diameter Serat
TKKS dicuci	343 – 364 $\mu\text{m}$
Alkalisasi	107-128 $\mu\text{m}$
Bleaching	20-30 $\mu\text{m}$
Hidrolisis	291 nm – 8 $\mu\text{m}$

Pada gambar 4.2 terlihat perbedaan morfologi dari setiap perlakuan yang diberikan pada serat. Pada gambar 4.2 a, serat mempunyai diameter sebesar 343 – 364  $\mu\text{m}$  dan ketika diberikan perlakuan alkalisasi dengan larutan NaOH 2%, diameter serat berkurang menjadi 107-128  $\mu\text{m}$ . Pengurangan ini diduga karena lignin yang ada di serat tandan kosong kelapa sawit tersebut hilang. Hal tersebut juga sama dialami dengan penelitian Jonathan (2016) dimana disebutkan bahwa lapisan

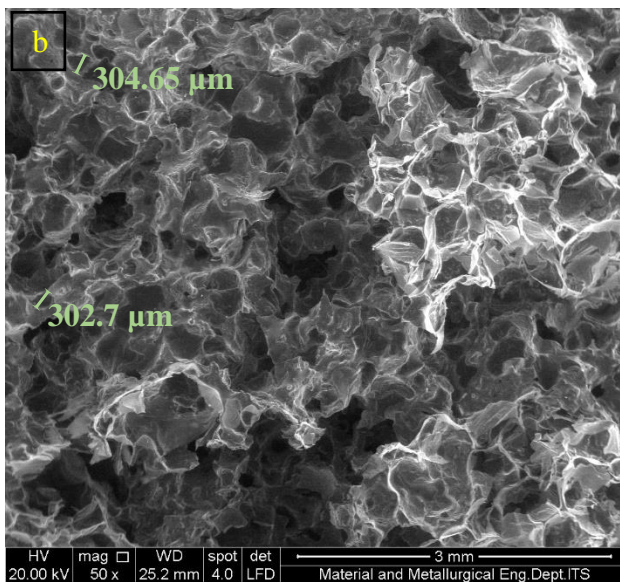
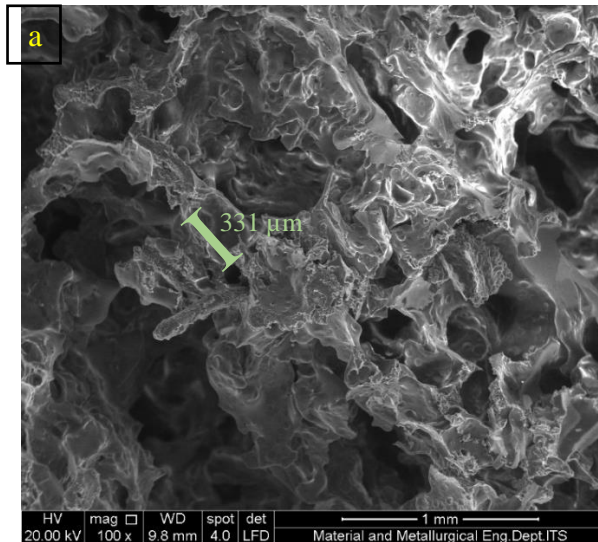


lignin pada serat tandan kosong kelapa sawit menghilang karena bereaksi dengan NaOH dan ditandai oleh berkurangnya diameter dari serat. Kemudian pada gambar (c) dapat dilihat juga bahwa diameter serat semakin berkurang menjadi 20-30  $\mu\text{m}$ . Hal tersebut terjadi karena proses *bleaching* dengan menggunakan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan NaOH. Menurut Abraham (2011) perilaku *bleaching* digunakan untuk menghilangkan sisa lignin yang ada pada serat. Ketika sisa lignin sudah hilang, maka diameter serat tentu akan mengecil kembali dan telah dibuktikan pada hasil SEM tersebut. Kemudian pada gambar (d) serat kembali mengalami penurunan diameter menjadi 291 nm – 8  $\mu\text{m}$  karena bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dalam proses *acid hydrolysis*. Abraham (2011) mengatakan bahwa hidrolisis asam dilakukan untuk menghasilkan selulosa murni dan dapat ditandai dengan pengurangan diameter kembali pada serat.

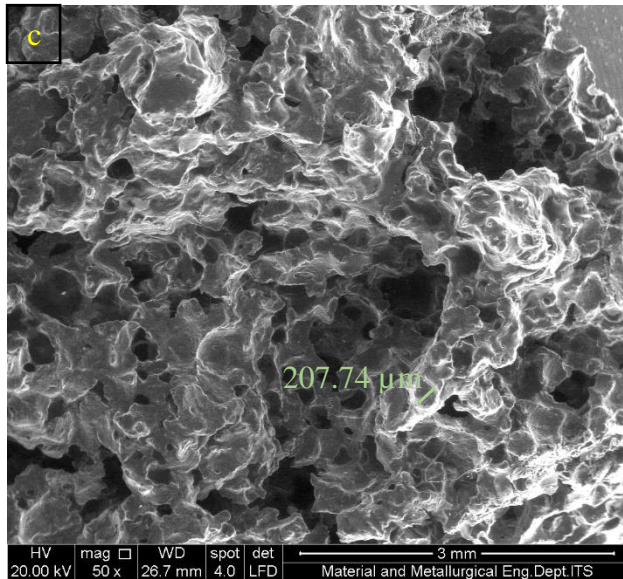
Dari hasil SEM serat tandan kosong kelapa sawit yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa nanoselulosa murni sudah terbentuk saat perilaku alkalisasi, *bleaching*, dan hidrolisis asam dilakukan pada serat dan ditandai dengan pengurangan diameter yang terus terjadi seiring dengan perilaku yang diberikan kepada serat tersebut.

#### **4.1.2.2 Hasil Pengujian SEM Komposit**

Morfologi komposit yang dilakukan pengujian SEM terlihat pada gambar-gambar di bawah ini







Gambar 4.6 Analisa SEM komposit dengan fraksi massa (a) 5%, (b) 10%, (c) 15%

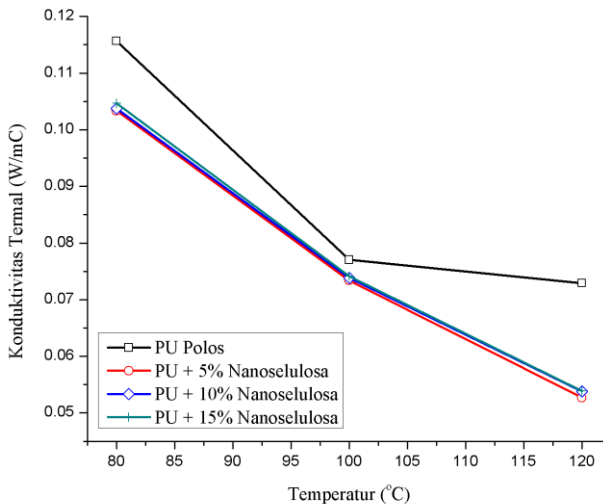
Gambar 4.6 merupakan hasil analisa dari SEM. Pengujian SEM ditujukan untuk memperlihatkan morfologi dari komposit saat sebelum dan sesudah ditambahkan filler dalam hal ini adalah nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit. Gambar SEM menjelaskan bahwa penambahan serat membuat komposit tidak beraturan. Hal ini disebabkan oleh reaksi antara isocyanate dan polyol yang tidak berikatan dengan sempurna karena penambahan serat (Shan, 2012). Terlihat jelas bahwa penambahan serat menyebabkan banyak terjadi deformasi pada komposit dan foam yang dihasilkan (Jonathan, 2016). Pada komposit yang ditambahkan fraksi nanoselulosa sebanyak 5% (pada gambar a) diketahui bahwa pori yang terbentuk sekitar 331  $\mu\text{m}$  sedangkan ketika ditambahkan lagi menjadi 10% (gambar b) dan 15% (gambar



c) nanoselulosa, muncul pori baru yang berukuran kecil sekitar 200-307  $\mu\text{m}$ . Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Jonathan dan Farid, juga Erdin dan Farid (2016) yaitu penambahan serat nanoselulosa untuk Jonathan dan penambahan serat bamboo untuk Erdin dapat menyebabkan foam terdeformasi menjadi ukuran yang lebih kecil. Hal ini juga didapati pada penelitian yang dilakukan oleh Yesim Buyukacini *et al* (2011) dimana penambahan serat membuat mikrostruktur PU menjadi lebih kecil dan tidak uniform.

#### 4.2 Konduktivitas Termal

Hasil pengujian konduktivitas termal dari komposit poliuretan berpenguat nanoselulosa ditunjukkan dalam gambar grafik 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.7 Hasil pengujian insulasi termal



Berdasarkan hasil pengujian tersebut, didapatkan trend penurunan nilai konduktivitas termal seiring dengan penambahan serat. Berikut merupakan tabel nilai nilai konduktivitas termal yang diperoleh dari percobaan.

Tabel 4.2 Data nilai konduktivitas termal

Persentase Serat	Temperatur	Nilai K	Nilai K rata rata
Murni	80 °C	0.115626	0.088518
	100 °C	0.077023	
	120 °C	0.072905	
5%	80 °C	0.103339	0.076478
	100 °C	0.073382	
	120 °C	0.052714	
10%	80 °C	0.103772	0.077134
	100 °C	0.073819	
	120 °C	0.05381	
15%	80 °C	0.104677	0.077572
	100 °C	0.074172	
	120 °C	0.053867	

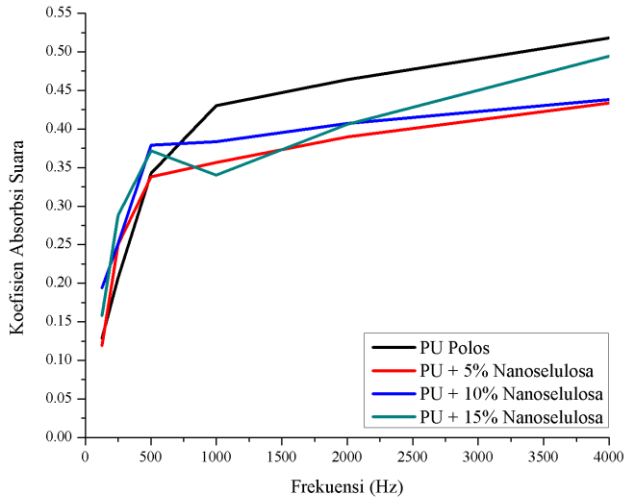
Berdasarkan data diatas PU yang merupakan rigid foam dikategorikan sebagai busa memiliki konduktivitas termal sekitar 0.024-0.027. Ketika nilai K mengalami penurunan, maka dapat disimpulkan bahwa bahan tersebut lebih sulit menghantarkan panas (Bob Foster, 2004). Hasil percobaan ini disebabkan oleh penambahan filler yang dapat memperkecil ukuran pori dan menurut Nastaran (2008) penambahan filler dapat memperkecil ukuran pori, karena perpindahan panas terjadi melalui dinding sel dan ukuran sel yang lebih kecil, mengurangi perpindahan panas dan



konduktivitas termalnya berkurang. Ketika fraksi massa filler terus ditambahkan seharusnya nilai konduktivitas termal semakin menurun, namun hal ini dapat dijelaskan karena menurut Hongyu (2016) polimer yang amorfus mempunyai arah perambatan panas yang acak dan menyebabkan fonon terhamburkan sedangkan kristalin pada dasarnya dapat meningkatkan arah perambatan panas dan fonon tersebut menjadi tidak berhamburan. Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa komposit yang memiliki nilai konduktivitas termal yang paling rendah adalah komposit poliuretan dengan fraksi massa filler yaitu nanoselulosa sebanyak 5% yaitu 0.076478. Menurut Hongyu (2016) pada interior otomotif standar yang digunakan sebagai acuan untuk maksimal konduktivitas termal adalah 0.4-0.8 W/m°C dan semua komposit yang diuji sudah memenuhi standard untuk diaplikasikan pada interior mobil khususnya door panel.

#### **4.3 Absorpsi Suara**

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian absorpsi suara komposit, diketahui bahwa ketika nilai  $\alpha$  semakin besar mendekati 1, maka sifat akustik material tersebut dalam menyerap dan meredam bunyi akan menjadi lebih baik. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa  $\alpha$  tertinggi tercapai pada frekuensi yang tinggi. Saat frekuensi 500-1000, koefisien absorpsi suara pada poliuretan sedikit mengalami penurunan dan ada ketidakstabilan, dapat dilihat pada frekuensi Hal tersebut dapat terjadi karena secara umum kapasitas absorpsi PU berada pada frekuensi tinggi dan relative rendah pada frekuensi rendah disebabkan karena rendahnya kapasitas peredaman energi suara. (Liu Ting dkk, 2011). Menurut Yusuf (2016) nilai koefisien absorpsi suara pada setiap specimen berbeda karena komposisi dari specimen menyebabkan kerapatan dan kehomogenan dari specimen tersebut berbeda.



Gambar 4.8 Grafik koefisien absorpsi suara

Grafik 4.8 diatas menunjukkan grafik koefisien absorpsi suara. Diketahui dari grafik bahwa komposit yang memiliki koefisien absorpsi suara yang paling besar pada frekuensi tinggi yaitu diantara 1500 – 4000 Hz adalah komposit dengan penambahan nanoselulosa sebesar 15% kemudian diikuti dengan penambahan fraksi masa nanoselulosa 10% dan yang terakhir adalah 5%. Trend dari grafik menunjukkan bahwa sifat absorpsi suara dari komposit poliuretan berpenguat nanoselulosa mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya juga frekuensi pada pengujian. Ciri ciri material tersebut sama dengan material *porous absorber* dimana material tersebut memiliki kemampuan untuk penyerapan suara yang lebih baik seiring dengan kenaikan frekuensi. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya pori yang disebabkan oleh nanoselulosa. Hal ini serupa dengan penelitian yang dilakukan



oleh Jonathan (2016) dan Aulin (2009) nanoselulosa bersifat sebagai penstabil pori, juga menurut Svagan (2010) nanoselulosa mempunyai kemampuan untuk membentuk pori. Dari gambar 4.5 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai koefisien absorpsi suara pada frekuensi 1000 Hz dan kemudian meningkat lagi. Hasil penelitian yang serupa juga didapati oleh Jayamani dkk (2013) yaitu penurunan dan peningkatan yang didapati ini dapat disebabkan oleh sifat atau karakteristik dari specimen itu sendiri dalam merefleksikan suara pada frekuensi 1000 Hz. Hal ini disebabkan karena koefisien absorpsi suara itu bergantung pada bahan dan frekuensi suara yang berkontak dengan permukaan specimen.

Tabel 4.3 Data  $\alpha$  dari Komposit Poliuretan

Frekuensi	FRAKSI MASSA			
	Murni	5%	10%	15%
125 Hz	0.1288	0.1188	0.1941	0.1581
250 Hz	0.2071	0.2503	0.2515	0.288
500 Hz	0.3428	0.3378	0.3788	0.3718
1000 Hz	0.4303	0.3568	0.3836	0.3404
2000 Hz	0.4639	0.3898	0.4074	0.4063
4000 Hz	0.5182	0.4334	0.4383	0.4944
NRC	0.348517	0.314483	0.342283	0.343167

Menurut Tiuc *et al.* (2016) dalam menunjukkan sifat absorpsi suara dari material dengan menggunakan nilai koefisien absorpsi suara pada rentang frekuensi yang berbeda mungkin terlalu kompleks. Untuk mengatasi masalah ini, kemampuan suatu material untuk menyerap suara umumnya dihitung menggunakan nilai tunggal: *noise reduction coefficient* (NRC). NRC dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Thuman, 1986):

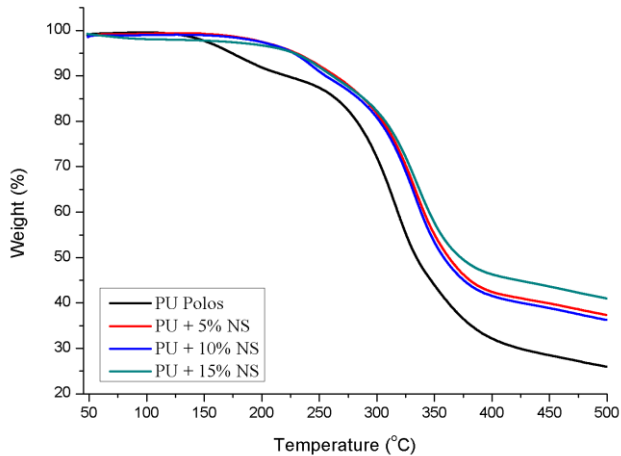


$$NRC = \frac{(\alpha_{125} + \alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000} + \alpha_{4000})}{6} \dots\dots\dots (4.1)$$

Shan (2012) juga menjelaskan bahwa semakin kecil densitas yang dimiliki oleh spesimen tersebut, maka koefisien absorpsi suara akan semakin bertambah. Menurut Howard (2009), semakin naik frekuensi, secara umum menyebabkan semakin naiknya nilai absorpsi suara yang menandakan bahwa material tersebut merupakan jenis porous absorber. Menurut Jakob Morkholt (2011), nilai koefisien absorpsi suara didalam interior sebuah kendaraan dibedakan menjadi 3 yaitu untuk atap mobil, tempat duduk dan jendela beserta pintu. Untuk door panel mobil dan jendela nilai  $\alpha$  sebesar 0.3. Nilai  $\alpha$  dari interior mobil ini diteliti oleh European Union research project Cabin Noise Reduction by Experimental and Numerical Design Optimization (CREDO). Dari hasil percobaan, dapat disimpulkan bahwa komposit yang memiliki nilai absorpsi suara yang paling baik adalah komposit dengan penambahan fraksi massa filler yaitu nanoselulosa sebanyak 15% yaitu 0.343167.

#### **4.4 Pengujian Tga**

Pengujian TGA dengan bertujuan untuk mengetahui stabilitas termal dari komposit PU yang ditambahkan dengan nanoselulosa. Berikut merupakan grafik hasil pengujian Tga. Gambar 4.9 Grafik pengujian Tga



Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Tga

Dari grafik dijelaskan bahwa yang bergaris hitam adalah PU murni, kemudian garis biru merupakan PU + 5% serat nanoselulosa, garis merah merupakan PU + 10% nanoselulosa, garis hijau merupakan PU + 15% nanoselulosa. Dapat diketahui bahwa tidak ada lagi kadar air didalam komposit karena tidak terjadi perubahan massa diantara temperatur 100°C (Ndazi,2007). Pengurangan massa dimulai pada temperatur 150-300 °C dimana sisa massa yang paling besar adalah PU murni dengan 25,96%, kemudian 10% serat nanoselulosa dengan 36,261% , 5% dengan 37,432%, dan yang paling stabil adalah PU + 15% serat nanoselulosa dengan 40,995%. Perhitungan sisa massa dari spesimen tersebut dihitung dari massa yang tersisa saat temperatur maksimal dibagi dengan massa spesimen awalnya. Menurut Karen dkk (2017) hal tersebut dikarenakan perlunya energi yang lebih untuk mendegradasi komposit dengan filler yang berfraksi massa besar daripada komposit yang tidak berfiller / hanya





polimer. Menurut Ibrahim (2012) penambahan filler meningkatkan stabilitas termal dari komposit karena menaikkan kadar abu dari komposit tersebut. Penelitian yang sama juga pernah dialami oleh Khoo (2015) dimana penambahan nanoselulosa memperlambat degradasi termal dari komposit tersebut.

#### **4.5 Pengujian Densitas**

Pengujian densitas dilakukan dengan mengukur massa dan volume dari komposit. Pengujian dan perhitungan dilakukan menurut standar ASTM D792.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Densitas

Fraksi Massa	Densitas Rata-rata (gr/cm <sup>3</sup> )
0%	<b>1.062 ± 0.01549054</b>
5%	<b>1.13 ± 0.024631657</b>
10%	<b>1.10 ± 0.014588211</b>
15%	<b>1.0695 ± 0.000218495</b>

Tabel 4.4 menunjukkan data densitas pada polyurethane murni dan komposit. Dari tabel data diatas, dapat dilihat bahwa densitas tertinggi ke yang paling rendah adalah



saat penambahan 5% nanoselulosa, 10% nanoselulosa, 15% nanoselulosa, dan poliuretan murni. Hal ini berkaitan dengan hasil pengujian dari absorpsi suara dan SEM dimana ketika koefisien absorpsi suara mengalami kenaikan, maka densitas dari spesimen tersebut rendah, sedangkan porinya bertambah. Shan (2012) juga mengatakan hal yang demikian, ketika densitas yang dihasilkan kecil, maka itu akan memperbesar koefisien absorpsi suara dari spesimen tersebut. Anand (2017) Juga mengatakan bahwa ketika densitas dari spesimen menurun, maka koefisien absorpsi suaranya akan naik. Menurut Katrine Sivertsen (2007), jumlah void yang banyak akan mengakibatkan jumlah gas dalam void akan bertambah. Gas ini mempunyai kekuatan mekanik yang dapat menurunkan sifat mekanik dari foam tersebut. Hal ini dibuktikan dengan nilai densitas eksperimen yang lebih kecil daripada teori. Karena pada saat proses sintesis, polyurethane mengembang dengan volume tertentu dan semakin mengembang akan semakin banyak void dan gas.

Menurut Marks (2008), densitas door panel yang dibutuhkan pada interior mobil biasanya berkisar antara 1,05-1,15 g/cm<sup>3</sup>. Dari hasil pengujian densitas diatas, komposit tersebut telah memenuhi standar densitas yang dibutuhkan dalam penggunaannya pada interior mobil.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil percobaan dan analisis data yang sudah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan:

1. Stabilitas Termal dari komposit Poliuretan berpenguat Nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit memiliki trend yang naik seiring ditambahkannya filler yaitu nanoselulosa. Mulai dari Poliuretan (50PPI:50PPG) yang paling rendah, penambahan nanoselulosa 10%, penambahan nanoselulosa 5%, dan yang paling stabil adalah penambahan nanoselulosa 15%.
2. Koefisien Absorpsi suara dari komposit Poliuretan berpenguat Nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit memiliki trend yang naik juga namun tidak lebih tinggi dari komposit yang tidak berfiller. Poliuretan polos memiliki nilai  $\alpha$  tertinggi yaitu 0.5182, kemudian untuk komposit kedua tertinggi adalah penambahan 15% serat nanoselulosa yaitu 0.4944, diikuti dengan penambahan 10% serat dan 5% serat di 0.4383 dan 0.4334. Semua itu adalah  $\alpha$  pada frekuensi 4000 Hz.
3. Nilai Koefisien konduktivitas termal dari komposit Poliuretan berpenguat Nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit memiliki trend turun seiring dengan penambahan nanoselulosa sebagai filler dengan nilai yang cukup rendah yaitu 0.76478 sebagai nilai konduktivitas termal yang paling rendah, yaitu di komposit Poliuretan dengan penambahan 5% serat nanoselulosa.
4. Dari ketiga fraksi massa yang menjadi penambahan dalam komposit Poliuretan ini, didapati bahwa penambahan 15% nanoselulosa dari serat tandan



kosong kelapa sawit yang memiliki koefisien absorpsi suara yang cukup tinggi yaitu 0.343167, nilai konduktivitas termal yang rendah yaitu 0.077134, densitas yang cukup rendah yaitu  $1.0695 \pm 0.000218495 \text{ gr/cm}^3$ , juga stabilitas termal yang paling baik.

## **5.2 Saran**

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai material penyerap suara berpori
2. Pembuatan Poliuretan lebih diperhatikan lagi agar pori dari poliuretan itu sendiri dapat terkendali.
3. Distribusi serat dalam pembuatan harus diperhatikan lagi

## DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, E. et al. 2011. “*Extraction of nanocellulose fibrils from lignocellulosic fibres: A novel approach*”. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 86. Hal. 1468– 1475.
- Anggorodi, R. 1994. *Ilmu Makanan Ternak*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Chen, Hongyu dkk. 2016. “*Thermal conductivity of polymer-based composites: Fundamentals and applications*”. *Progress in Polymer Science*. Hal 54-75.
- David M. Howard, *Accoustics and Psychoaccoustics*, 2009
- Dian, Jonathan dan Moh Farid. 2017. “*Sintesis dan karakterisasi komposit polyurethane berpenguat nanocellulose dari serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan akustik*”. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Farid, M., H. Ardhyana, V. M. Pratiwi, S. P. Wulandari. 2015. Correlation between Frequency and Sound Absorption xxv Coeffiecient of Polymer Reinforced Natural Fibre. *Advanced Materials Research*, Vol. 1112, pp. 329-332
- Farid, M. T. Heryanto. 2013. *Correlation of Normal Incidence Sound Absorbtion Coefficient (NAC) and Random Incidence Sound Absorbtion Coefficient (RAC) of Polyester/Ramie Fibre Composite Materials*. *Advanced Material Research*. Vol 789, pp.269-273
- Hee, Khai dkk. 2016. ” *Oil palm empty fruit bunch fibres as sustainable acoustic absorber*”. *Applied Acoustics*. Hal 13-15.
- Howard dan Angus, 2009. *Accoustics and Psychoaccoustics 4th Edition*. Burlington: Oxford
- Ida Sriyanti, *Nanocomposite prepared by simple mixing method*, 2009
- Jayamani, et al. 2013. “*Experimental determination of Sound Absorption Coefficients of Four types of*

- Malaysian Wood*". Applied Mechanics and Materials. Vol. 315. Hal. 577-581.
- Julianto, Henry dan Moh. Farid. 2017. "*Pengembangan bahan akustik dan insulasi termal berbasis komposit silicone rubber berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit untuk muffler*". Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Katrine, S. 2007. Polymer Foams. Spring United States : 3.063 Polymer Physics.
- Legiviani, Rani dan Moh. Farid. 2016. "*Pengaruh Perbandingan Komposisi Penyusun Polyurethane dan Fraksi Massa Serat Kelapa terhadap Koefisien Absorpsi Suara dan Kekuatan Lentur Komposit Serat Kelapa pada Aplikasi Muffler*". Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Lya Agustina, *Karakteristik serat tandon kosong kelapa sawit (TKKS) dengan perlakuan perebusan dan pengukusan*, 2016
- Morais, João Paulo Saraiva, et al. 2012. "*Extraction and characterization of nanocellulose structures from raw cotton linter*". Carbohydrate Polymers No. 91, hal. 229-235.
- Nazeran, Nastaran dan Jafarsadegh Moghddas. 2017. "*Synthesis and characterization of silica aerogel reinforced rigid polyurethane foam for thermal insulation application*". Journal of Non-Crystalline Solids. Hal 6-8.
- Pokorny, Jan. 2014. "*A parametric study of influence of material properties on car cabin environment*". EDP Sciences. Hal 2-3.
- Pratama, Rachmadhani Dian dan Moh. Farid. 2017. "*Karakterisasi komposit silicone rubber berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit dan barium heksaferrit untuk aplikasi penyerap suara dan penyerap radar*". Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

- Rahayu, Titiek. 2010. *“Dampak Kebisingan Terhadap Munculnya Gangguan Kesehatan”*. Edisi Januari : 59 – 65.
- Rahmasita, Muthia Egi dan Moh. Farid. 2017. *“Rekayasa komposit poliester berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit dengan metode spray untuk aplikasi penyerap suara”*. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Raja Naposo Harahap, *Kajian Eksperimental Karakteristik Material Akustik dari Campuran Serat Batang Kelapa Sawit dan Poliuretan dengan Metode Impedance Tube*, 2010
- Sanjay K. Mazumdar, *Composites Manufacturing*, 2001
- Shan, Chen Wen. 2012. *Study of Flexible Polyurethane Foams Reinforced with Coir Fiber and Tyre Particles*. Malaysia : UTHM
- Suban, Stefanus Laga dan Moh. Farid, 2015. *“Pengaruh Variasi Komposisi Serat Terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara dan Perilaku Mekanik Pada Komposit Serat Ampas Tebu Dan Bambu Betung Dengan Matriks Gypsum”*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya
- Sulistijono. 2012. *Mekanika Material Komposit*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Sultoni, Yusuf dan Moh. Farid. 2016. *“Pengaruh Proses Alkali dan Fraksi Massa terhadap Morfologi, kekuatan Bending dan Koefisien Absorpsi Suara Komposit Polyurethane/Coir Fiber pada Komponen Muffler”*. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Sung, Giwook dan Jung Hyeun Kim. 2017. *“Influence of filler surface characteristics on morphological, physical, acoustic properties of polyurethane composite foams filled with inorganic fillers”*. Composites Science and Technology. Hal 10-15.
- Supan, Karen E. dkk. 2017. *“Thermal degradation of MWCNT/polypropylene nanocomposites: A comparison of*

- TGA and laser pulse heating*". Polymer Degradation and Stability. Hal 5-11.
- Svagan, A.J., et al. 2010. "*Towards tailored hierarchical structures in starch-based cellulose nano-composites prepared by freeze drying*". J. Mater. Chem. Vol. 20. Hal. 6646.
- Wulandari, W.T. dkk. 2016. "*Nanocellulose prepared by acid hydrolysis of isolated cellulose from sugarcane bagasse*". Institut Teknologi Bandung. Hal 5-7.
- Zhang, Lei dkk. 2017. "*Thermal conductivity of cement stabilized earth blocks*". Construction and Building Materials. Hal 506-511.



## **LAMPIRAN A**

### **PERHITUNGAN MASSA SPESIMEN**

#### **1. Massa Spesimen Uji Absorpsi Suara** **Massa Total = 40gr**

➤ **Fraksi Massa 5%**

Massa Filler	= 2gr
Massa Polyisocyanate	= 19gr
Massa Polyol Compound	= 19gr

➤ **Fraksi Massa 10%**

Massa Filler	= 4gr
Massa Polyisocyanate	= 18gr
Massa Polyol Compound	= 18gr

➤ **Fraksi Massa 15%**

Massa Filler	= 6gr
Massa Polyisocyanate	= 17gr
Massa Polyol Compound	= 17gr

#### **2. Massa Spesimen Insulasi Termal** **Massa Total = 10gr**

➤ **Fraksi Massa 5%**

Massa Filler	= 0.5gr
Massa Polyisocyanate	= 4.75gr
Massa Polyol Compound	= 4.75gr

➤ **Fraksi Massa 10%**

Massa Filler	= 1 gr
Massa Polyisocyanate	= 4.5gr
Massa Polyol Compound	= 4.5gr

➤ **Fraksi Massa 15%**

Massa Filler	= 1.5gr
Massa Polyisocyanate	= 4.25gr
Massa Polyol Compound	= 4.25gr

**LAMPIRAN B**  
**PERHITUNGAN INSULASI TERMAL**

$$\Delta T_R = (\Delta T_{1,2} + \Delta T_{2,3} + \Delta T_{3,4} + \Delta T_{7,8} + \Delta T_{8,9} + \Delta T_{9,10})/6$$

$$k'_a = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_a} \cdot \frac{L_a}{L_R} \cdot k_R$$

$$k'_b = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_b} \cdot \frac{L_b}{L_R} \cdot k_R$$

$$k = \frac{L_b \cdot L_a}{\frac{L_b}{K_b} \cdot \frac{L_a}{K_a}}$$



## LAMPIRAN C

### PERHITUNGAN DENSITAS KOMPOSIT

Fraksi Massa	a	b	w	Densitas	Densitas Rata rata
0%	0.4396	128.92 5	128.9	1.060299 083	1.0625490 54
	0.3696	126.08	126.05 8	1.063291 139	
	0.299	122.13 8	122.12	1.064056 94	
5%	0.3874	126.10 5	126.07	1.099318 956	1.1346316 57
	0.3812	126.15	126.1	1.150966 184	
	0.3004	126.21	126.17	1.153609 831	
10%	1.0675	119.8	119.7	1.103359 173	1.1045882 11
	1.006	117.25	117.16	1.098253 275	
	0.7834	115.76 9	115.69	1.112152 186	
15%	0.781	126.71	126.66	1.068399 453	1.0695184 95
	0.5541	124.37 6	124.34	1.069484 655	
	0.3333	120.62 2	120.6	1.070671 378	

**a** = massa spesimen di udara  
**b** = massa spesimen dan pemberat serta kawat didalam air  
**w** = massa total pemberat dan kawat

## LAMPIRAN D

### HASIL ABSORBSI SUARA



#### LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-59223626 FAX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 153/PRO/VIBRASTIC/V/2017

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

#### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen Poliuretan dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Jumat, 26 Mei 2017 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

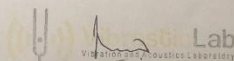
Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa ( $\alpha$ )
125	0.1288
250	0.2071
500	0.3248
1000	0.4303
2000	0.4639
4000	0.5182

#### Kesimpulan

Pengujian alpha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc  
NIP. 1960022918701 1 001



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 6947186, 599425-4 Fax. 03-5923626 FAX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 158/PRO/VIBRASTIC/V/2017  
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen Absorpsi Suara PU+ 5% Nanoselulosa dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 25 Mei 2017 pukul 01.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

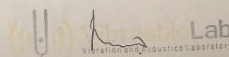
**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	Alfa ( $\alpha$ )
125	0.1188
250	0.2503
500	0.3378
1000	0.3568
2000	0.3898
4000	0.4334

### Kesimpulan

Pengujian alpha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc  
NIP. 1960022918701 1 001



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FAX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 159/PRO/VIBRATIC/V/2017

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen Absorpsi Suara PU+ 10% Nanoselulosa dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 25 Mei 2017 pukul 01.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

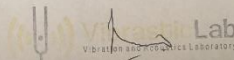
Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa ( $\alpha$ )
125	0.1941
250	0.2515
500	0.3788
1000	0.3836
2000	0.4074
4000	0.4383

### Kesimpulan

Pengujian alpha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.  
NIP. 1960022918701 1 001



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 59425-4 Fax. 03-5923626 FAX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 160/PRO/VIBRASTIC/V/2017

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen Absorpsi Suara PU+ 15% Nanoselulosa dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 25 Mei 2017 pukul 01.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa ( $\alpha$ )
125	0.1581
250	0.288
500	0.3718
1000	0.3404
2000	0.4063
4000	0.4944

### Kesimpulan

Pengujian alpha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



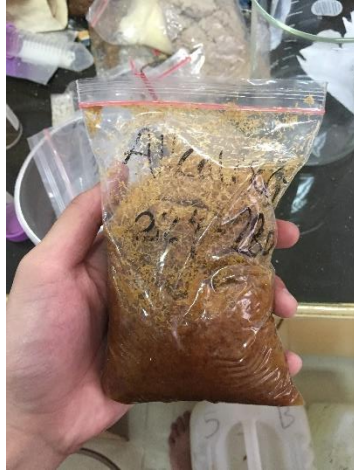
**Lab**  
VIBRATION & ACOUSTIC TECHNOLOGY

Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc  
NIP. 1960022918701 1 001



## LAMPIRAN E FOTO SPESIMEN

### SEM

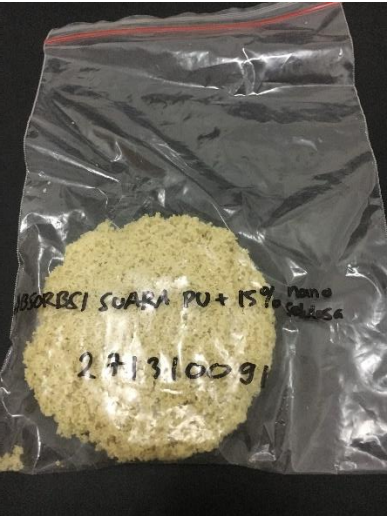
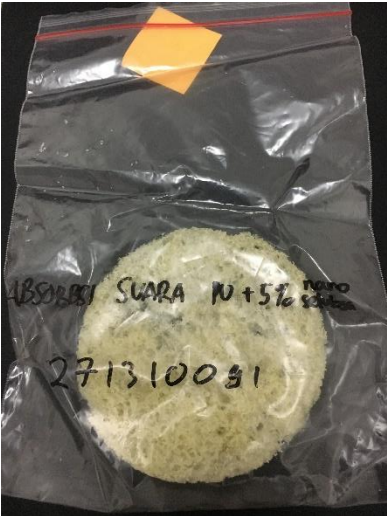
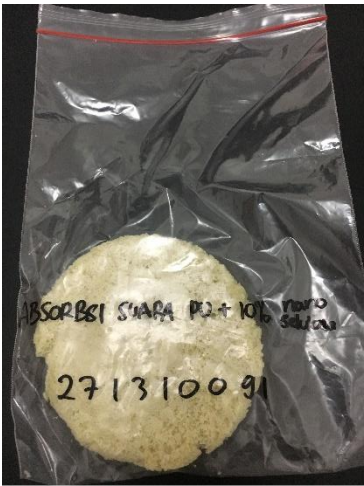
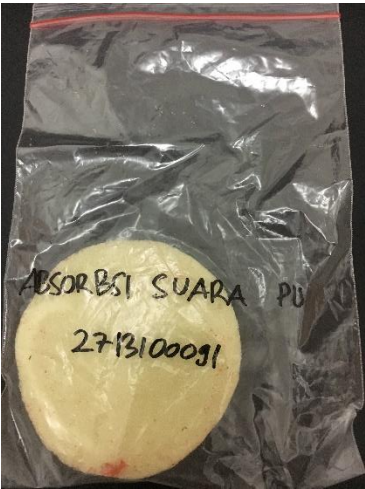




## INSULASI TERMAL



**ABSORBSI SUARA**



## LAMPIRAN F

### KOMPARASI SEMUA PENGUJIAN

<b>FRAKSI MASSA</b>	<b>ABSORB SI SUARA</b>	<b>STABILIT AS TERMAL (%)</b>	<b>INSULASI TERMAL (W/mC)</b>	<b>DENSITA S (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>MURNI</b>	<b>0.348517</b>	<b>25.96</b>	<b>0.088518</b>	<b>1.06255</b>
<b>5%</b>	<b>0.314483</b>	<b>37.432</b>	<b>0.076478</b>	<b>1.13463</b>
<b>10%</b>	<b>0.342283</b>	<b>36.261</b>	<b>0.0077134</b>	<b>1.10459</b>
<b>15%</b>	<b>0.343167</b>	<b>40.995</b>	<b>0.077572</b>	<b>1.06952</b>

Dari 4 pengujian dan 4 penambahan fraksi massa nanoselulosa tersebut, dapat dilihat bahwa yang paling baik dari segi nilai absorpsi suara, stabilitas termal, insulasi termal, dan densitasnya adalah komposit dengan penambahan fraksi massa nanoselulosa sebanyak 15%.

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Samuel Budi Utomo, lahir di Jakarta pada tanggal 1 November 1995 dari ayah bernama Eben Ezer dan ibu bernama Ira Sari. Penulis adalah putra pertama dari tiga bersaudara dan telah menempuh pendidikan formal di SDK 4 BPK Penabur, lalu SMPK 5 BPK Penabur, lalu SMAK 7 BPK Penabur. Penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Material dan Metalurgi melalui tes SBMPTN 2013. Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan dan kepanitiaan di kampus antara lain sebagai Staff Unit Kerja Khusus HMMT FTI ITS periode 2014/2015, Kepala Departemen Internal INDOCOR ITS SC periode 2015/2016 dan merangkap sebagai Kepala Divisi bagian dana Unit Kerja Khusus HMMT FTI ITS periode 2015/2016. Selain itu, penulis pernah menjadi panitia ICOMMET 2016, panitia SILVER PARADE 2015. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktisi di Elang Perdana Tyre Industry pada divisi *Research and Development* bagian compounding komposit pada ban. Sebagai tugas akhir, penulis mengambil topik mengenai material inovatif (komposit).

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*